

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

IMPORTÂNCIA DA INÉRCIA HIGROSCÓPICA EM MUSEUS

Cláudia Sofia Faia Miranda Ferreira

Licenciada em Engenharia Civil pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Dissertação submetida para obtenção do grau de mestre
em Reabilitação do Património Edificado pela
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Orientador: Prof. Vasco Manuel Araújo Peixoto de Freitas

MARÇO 2008

Dedicatória

Ao Renato e aos meus Pais.

Agradecimentos

Ao concluir este trabalho quero expressar o meu sincero agradecimento a todas as pessoas que, de algum modo, contribuíram para que a sua concretização fosse possível. Assim sendo:

Ao Professor Vasco Peixoto de Freitas expresso o meu profundo agradecimento pelo apoio, confiança, disponibilidade e dedicação demonstrada na orientação desta dissertação;

Ao Eng.º Luís Casanovas agradeço a disponibilidade e a rapidez com que leu e comentou o presente trabalho;

Ao Nuno Ramos, quero agradecer a disponibilidade e o interesse demonstrados, bem como a oportunidade de utilização do protótipo laboratorial por ele concebido, na realização dos ensaios que serviram de base ao presente trabalho;

À Fundação para a Ciência e Tecnologia – FCT, agradeço o apoio prestado através do projecto POCI/ECM/57722/2004 – Humidade na Construção;

À Ana Sofia Guimarães, amiga de longa data e de todas as horas, agradeço a amizade e o carinho, o apoio e o estímulo, o incentivo e a motivação, pois sem eles a elaboração deste trabalho não seria possível. E aos amigos mais recentes, Ana Sá e Eduardo Costa quero agradecer os seus conselhos e incentivos;

A todos os outros colegas do Laboratório de Física das Construções, da secção e de sala que me apoiaram e motivaram de uma forma ou de outra, o meu muito obrigado;

Ao Renato, aos meus Pais e à minha irmã expresso os meus mais sinceros agradecimentos por estarem sempre ao meu lado e por me apoiarem incondicionalmente em todos os momentos vividos durante a elaboração deste trabalho.

Resumo

A humidade constitui uma das principais causas de deterioração dos edifícios, em particular, a variação da humidade relativa do ambiente interior. Nos museus, os objectos que constituem o seu acervo são facilmente afectados pelas variações de humidade relativa, pelo que é da maior importância avaliar a sua variação e controlo ao longo do tempo.

O Laboratório de Física das Construções – LFC, da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto – FEUP, tem desenvolvido uma importante investigação no domínio da Inércia Higroscópica com o objectivo de quantificar o controlo passivo da variação da humidade relativa. A recente participação no projecto de investigação internacional *Annex 41 – Whole Building Heat, Air and Moisture* da Agência Internacional da Energia contribuiu para um significativo avanço do conhecimento neste domínio.

Com este trabalho pretende-se analisar e avaliar as condições higrotérmicas de um museu sem sistemas de climatização permanente, bem como estudar experimentalmente, através de ensaios laboratoriais o controlo passivo das flutuações da humidade relativa no interior de um compartimento.

O trabalho aqui desenvolvido procura evidenciar que a utilização de materiais higroscópicos nos revestimentos interiores dos museus favorece o controlo das condições higrotérmicas. Procura ainda contribuir para a aplicação deste princípio na reabilitação adaptativa de museus situados em edifícios antigos.

PALAVRAS-CHAVE: Humidade Relativa, Museus, Inércia Higroscópica.

Abstract

Moisture is one of the main causes of deterioration in buildings, especially the variations in relative humidity of the indoor air. In buildings that are used for special purposes, such as museums, and which do not have permanent air-conditioning systems, these variations in relative humidity may affect the works of art kept in their collections.

The Laboratory of Building Physics (LFC) of the Faculty of Engineering, University of Oporto (FEUP), has been engaged in important research in the area of Hygroscopic Inertia. Its recent participation in the international research project *Annex 41 – Whole Building Heat, Air and Moisture*, organised by the International Energy Agency, has contributed to significant advances in the control of indoor hygrothermal conditions in a museum, with sole and exclusive recourse to the building.

The aim of this work is to analyse and assess the hygrothermal conditions of a museum that is not equipped with permanent air-conditioning, and, by experimental research, study the passive effect of the building on the control of indoor hygrothermal conditions.

It goal to prove that the use of hygroscopic materials in museum's interior finishing contributes to the control of hygrothermal conditions, a principle which, it is hoped, may be applied to the adaptive rehabilitation of museums located in old buildings.

KEYWORDS: Relative Humidity, Museums, Hygroscopic Inertia.

Índice

Capítulo 1	Introdução	1
1.1	Considerações Gerais.....	1
1.2	Objectivos da Dissertação.....	2
1.3	Organização e Estruturação do Texto	3
Capítulo 2	Condições Higrotérmicas em Museus	5
2.1	Introdução	5
2.2	Evolução ao Longo dos Tempos	5
2.2.1	Até aos Primórdios do Século XIX	5
2.2.2	Finais do Século XIX – Inícios do Século XX.....	8
2.2.3	Finais do Século XX – Inícios do Século XXI.....	9
2.3	Factores que Influenciam as Condições Higrotérmicas em Museus	11
2.3.1	Colecção	11
2.3.2	Edifício	14
2.3.3	Clima Exterior	16
2.4	Condições Higrotérmicas “Ideais”	18
2.5	Síntese do Capítulo 2	21
Capítulo 3	Caracterização do Clima Interior de um Museu no Sul de Portugal	23
3.1	Caracterização Sumária do Edifício	23
3.2	Medições Realizadas.....	28
3.3	Análise e Interpretação dos Resultados	37
3.4	Síntese do Capítulo 3	42
Capítulo 4	Estudo Experimental para Avaliar a Influência da Inércia Higroscópica nas Condições Higrotérmicas Interiores	43
4.1	Introdução	43
4.2	Infra-estrutura de Ensaio.....	44
4.2.1	Câmara Climática	45

4.2.2	Câmara de Fluxo.....	46
4.2.3	Dataloggers.....	48
4.3	Ensaio Preliminares.....	52
4.3.1	Configuração dos Ensaio.....	52
4.3.2	Resultados Obtidos.....	53
4.3.2.1	Configuração 1.....	54
4.3.2.2	Configuração 2.....	56
4.3.2.3	Configuração 5.....	57
4.3.2.4	Configuração 6.....	59
4.3.3	Análise Crítica dos Resultados Obtidos nos Ensaio Preliminares	61
4.4	Ensaio Complementares.....	66
4.4.1	Configuração dos Ensaio.....	66
4.4.2	Resultados Obtidos.....	67
4.4.2.1	Configuração 7.....	67
4.4.2.2	Configuração 8.....	69
4.4.3	Análise Crítica dos Resultados Obtidos nos Ensaio Complementares.....	71
4.5	Síntese do Capítulo 4.....	74
Capítulo 5	Critérios de Projecto.....	75
5.1	Introdução.....	75
5.2	Arquitectura.....	76
5.3	Materiais e Revestimentos.....	78
5.4	Síntese do Capítulo 5.....	82
Capítulo 6	Conclusões.....	83
6.1	Considerações Finais.....	83
6.2	Desenvolvimento Futuro da Investigação neste Domínio.....	84
Referências Bibliográficas		87
Anexo A	Condições Higrotérmicas de Referência para Objectos Museológicos	103
Anexo B	Equipamentos de Medida	107

Lista de Figuras

Figura 2.1 — Maquete do higrómetro de <i>Leonardo da Vinci</i>	7
Figura 2.2 — Higrómetro de cabelo [3].	7
Figura 2.3 — Variação no tempo da humidade relativa e da temperatura, durante a estação de aquecimento na Bélgica [8].	15
Figura 2.4 — Atmosfera sob influência urbana [11].	16
Figura 2.5 — Portugal Continental: zonas climáticas [12].	17
Figura 3.1 — Museu Municipal de Faro – Vista do Claustro [14].	24
Figura 3.2 — Planta do edifício do Museu Municipal de Faro [14].	25
Figura 3.3 — Museu de Faro. Sala de Pintura [2].	26
Figura 3.4 — Sala de Epigrafia e Lapidária [2].	27
Figura 3.5 — Temperatura e humidade do ar no distrito do Algarve [18].	27
Figura 3.6 — Museu Municipal de Faro – Piso 0.	29
Figura 3.7 — Temperatura e humidade relativa – Piso 0, Sala 14.	30
Figura 3.8 — Pressão de vapor – Piso 0, Sala 14.	30
Figura 3.9 — Temperatura e humidade relativa – Piso 0, Sala 16.	31
Figura 3.10 — Pressão de vapor – Piso 0, Sala 16.	31
Figura 3.11 — Temperatura e humidade relativa – Piso 0, Sala 19.	32
Figura 3.12 — Pressão de vapor – Piso 0, Sala 19.	32
Figura 3.13 — Temperatura e humidade relativa – Piso 0, Sala 36.	33
Figura 3.14 — Pressão de vapor – Piso 0, Sala 36.	33
Figura 3.15 — Museu Municipal de Faro – Piso 1.	34
Figura 3.16 — Temperatura e humidade relativa – Piso 1, Salas 23, 24 e 25.	35
Figura 3.17 — Pressão de vapor – Piso 1, Salas 23, 24 e 25.	35
Figura 3.18 — Temperatura e humidade relativa – Piso 1, Salas 27, 28 e 29.	36
Figura 3.19 — Pressão de vapor – Piso 1, Salas 27, 28 e 29.	36

Figura 3.20 — Comparação das pressões de vapor entre a Sala 14 e a Sala 36.	39
Figura 3.21 — Variação da humidade relativa exterior e interior [20].	40
Figura 3.22 — Comparação das pressões de vapor interior entre as Salas 14 e 19.	41
Figura 4.1 — Representação esquemática da infra-estrutura de ensaio.	44
Figura 4.2 — Câmara Climática tipo “walk-in” – Fitoclima 3600 EDTU.	45
Figura 4.3 — Câmara de Fluxo do LFC.	46
Figura 4.4 — Sistema de ventilação da câmara de fluxo. Bomba de ar e rotrâmetros de controlo.	47
Figura 4.5 — Dataloggers R3120 – <i>Comet System</i>	48
Figura 4.6 — Posicionamento dos dataloggers no exterior e no interior.	50
Figura 4.7 — Posicionamento dos dataloggers e das sondas.	50
Figura 4.8 — Registos de humidade relativa dos dataloggers e das sondas.	51
Figura 4.9 — Provetes utilizados nos ensaios.	52
Figura 4.10 — Variação da temperatura ao longo do tempo na configuração 1.	54
Figura 4.11 — Variação da humidade relativa ao longo do tempo na configuração 1.	54
Figura 4.12 — Variação da pressão de vapor ao longo do tempo na configuração 1.	55
Figura 4.13 — Variação da pressão de vapor média diária na configuração 1.	55
Figura 4.14 — Variação da humidade relativa ao longo do tempo na configuração 2.	56
Figura 4.15 — Variação da pressão de vapor ao longo do tempo na configuração 2.	56
Figura 4.16 — Variação da pressão de vapor média diária na configuração 2.	57
Figura 4.17 — Variação da humidade relativa ao longo do tempo na configuração 5.	58
Figura 4.18 — Variação da pressão de vapor ao longo do tempo na configuração 5.	58
Figura 4.19 — Variação da pressão de vapor média diária na configuração 5.	59
Figura 4.20 — Variação da humidade relativa ao longo do tempo na configuração 6.	59

Figura 4.21 — Variação da pressão de vapor ao longo do tempo na configuração 6.....	60
Figura 4.22 — Variação da pressão de vapor média diária na configuração 6.	60
Figura 4.23 — Variação da pressão de vapor exterior e interior quando não há produção de vapor nem materiais higroscópicos.	62
Figura 4.24 — Variação da pressão de vapor exterior e interior quando temos materiais higroscópicos e não há produção de vapor [20].	63
Figura 4.25 — Variação da pressão de vapor média diária nas configurações 1 e 6.....	64
Figura 4.26 — Variação da pressão de vapor média diária nas configurações 2 e 5.....	65
Figura 4.27 — Variação da pressão de vapor média diária nas configurações 3 e 4.....	65
Figura 4.28 — Representação esquemática da infra-estrutura dos ensaios complementares.	66
Figura 4.29 — Câmara de fluxo selada com fita de alumínio.	67
Figura 4.30 — Variação da temperatura ao longo do tempo na configuração 7.....	67
Figura 4.31 — Variação da humidade relativa ao longo do tempo na configuração 7.....	68
Figura 4.32 — Variação da pressão de vapor ao longo do tempo na configuração 7.....	68
Figura 4.33 — Variação da pressão de vapor média diária na configuração 7.	69
Figura 4.34 — Variação da temperatura ao longo do tempo na configuração 8.....	69
Figura 4.35 — Variação da humidade relativa ao longo do tempo na configuração 8.....	70
Figura 4.36 — Variação da pressão de vapor ao longo do tempo na configuração 8.....	70
Figura 4.37 — Variação da pressão de vapor média diária na configuração 8.	71
Figura 4.38 — Variação da humidade relativa na configuração 3 e 8.	72
Figura 4.39 — Variação da pressão de vapor – Configurações 7 e 8.....	73
Figura 5.1 — Valores médios (1931/1960) da pressão de vapor exterior ao longo do ano para o Porto [30].....	80

Figura 5.2 — Proposta da variação da temperatura de conforto interior num edifício/museu.	80
Figura 5.3 — Variação da humidade relativa no interior de um edifício sem produção de vapor.	81
Figura 5.4 — Procedimento para a determinação do AHIV.....	81
Figura B.1 — Exemplo de um psicrómetro [30].....	108
Figura B.2 — Exemplo de um termohigrógrafo.	109
Figura B.3 — Dataloggers Comet System.....	110

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 — Agentes de degradação [6].....	12
Tabela 3.1 — Condições higrotérmicas – Valores médios.....	37
Tabela 4.1 — Parâmetros técnicos dos dataloggers R3120.	49
Tabela 4.2 — Configurações ensaiadas.	53
Tabela 4.3 — Mínimos, máximos e médias dos resultados obtidos.	61
Tabela 4.4 — Configurações dos ensaios complementares.	66
Tabela A.1 — Valores médios da humidade relativa e temperatura de diversos materiais que constituem os objectos museológicos [5].	103
Tabela A.2 — Especificações de humidade relativa e temperatura para museus, galerias, bibliotecas e arquivos [5].....	105

Capítulo 1

Introdução

1.1 Considerações Gerais

O museu é uma instituição permanente, sem fins lucrativos, ao serviço da sociedade e do seu desenvolvimento, aberto ao público, e que adquire, conserva, estuda, comunica e expõe testemunhos materiais do homem e do seu meio ambiente, tendo em vista o estudo, a educação e a fruição [1]. A caracterização das condições climáticas do ambiente interior nos museus é fundamental no que diz respeito à preservação e conservação dos acervos museológicos. As elevadas flutuações climáticas (temperatura e humidade relativa), a que muitas vezes os objectos são sujeitos podem provocar três tipos de deteriorações: variação dimensional (tamanho e forma), reacções químicas ou biodeterioração. Assim sendo, todos os estudos que visem o controlo das condições climáticas interiores são de elevada importância.

Em edifícios de utilização especial, como são exemplo os museus, a inércia higroscópica, definida como a capacidade de armazenamento de humidade dos revestimentos interiores, pode revelar-se fundamental no controlo das condições ambiente interiores em países com um clima temperado. É de realçar, que esta assume particular importância em locais sem sistemas de climatização permanente.

O efeito da inércia higroscópica, já foi abordado por vários especialistas e em vários países, contudo, a sua aplicação ao nível dos museus ainda é incipiente. A obtenção de resultados quantitativos e qualitativos que permitam avaliar a importância da inércia higroscópica em museus, constitui um contributo para o avanço do conhecimento neste domínio.

1.2 Objectivos da Dissertação

O principal objectivo do trabalho desenvolvido nesta dissertação é a aplicação do conceito de inércia higroscópica a museus, edifícios cujas condições de temperatura e humidade relativa são particulares, e neste contexto avaliar a sua importância. Ao longo deste trabalho foram definidos alguns objectivos parciais, que se descrevem de seguida:

- Avaliar a informação relacionada com a evolução ao longo do tempo das condições higrotérmicas interiores “ideais” em museus, no que se refere à temperatura e humidade relativa;
- Descrever e caracterizar os principais factores que influenciam as condições higrotérmicas no interior dos museus, designadamente, o próprio edifício, as colecções e o clima exterior;
- Estudar e caracterizar as condições higrotérmicas interiores de um museu no Sul de Portugal;
- Avaliar o efeito da inércia higroscópica, através de um estudo experimental que tem como objectivo a monitorização do ambiente exterior e interior de uma câmara de fluxo, que pretende simular o comportamento de uma sala;
- Enumerar alguns critérios de concepção e execução a ser seguidos no projecto de reabilitação de um edifício antigo que vai ser utilizado como museu.

Todos estes objectivos parciais devem convergir para um objectivo final que se concretiza com a resposta à seguinte pergunta: É importante a consideração da inércia higroscópica em museus?

1.3 Organização e Estruturação do Texto

A presente dissertação encontra-se organizada em 6 capítulos:

- O primeiro capítulo (Capítulo 1) introduz os restantes e resume os objectivos deste trabalho;
- O segundo capítulo (Capítulo 2) de carácter monográfico, pretende desenvolver o estado da arte, no que se refere à evolução ao longo dos tempos dos critérios que definiram as condições higrotérmicas “ideais” em museus. Pretende ainda caracterizar os factores que influenciam as condições higrotérmicas interiores e definir os seus valores “ideais”;
- No terceiro capítulo (Capítulo 3), tendo como base alguma informação fornecida, analisa-se e caracteriza-se de uma forma sumária o clima interior do Museu Municipal de Faro;
- O quarto capítulo (Capítulo 4), de carácter experimental, descreve toda a investigação desenvolvida em laboratório, incluindo a descrição da infraestrutura de ensaio, as configurações ensaiadas, os resultados obtidos, bem como a análise exaustiva desses resultados;
- No quinto capítulo (Capítulo 5) procura-se estabelecer alguns critérios a ter em conta em projecto de reabilitação de edifícios antigos a serem utilizados como museus, no que se refere ao seu comportamento higrotérmico;
- O sexto e último capítulo (Capítulo 6) apresenta as principais conclusões e perspectiva o desenvolvimento de trabalhos futuros.

Capítulo 2

Condições Higrotérmicas em Museus

2.1 Introdução

As condições higrotérmicas em museus, nomeadamente a humidade relativa e a temperatura, estão integradas no quotidiano dos Museólogos e Coleccionadores. Os objectos museológicos apresentam comportamentos diferentes de acordo com o meio ambiente onde se encontram. No entanto, o estudo da relação entre o ambiente e os objectos só começou a ser desenvolvido recentemente com o aprofundar dos problemas do meio ambiente museológico.

O controle das condições higrotérmicas interiores em museus é o ponto de partida para a preservação/conservação dos acervos. A colecção, o edifício e o clima exterior são factores que influenciam essas condições tornando o seu estudo bastante complexo.

2.2 Evolução ao Longo dos Tempos

2.2.1 Até aos Primórdios do Século XIX

Os primeiros sinais visíveis da preocupação com as condições ambiente em museus remontam ao século I a.C. com *Vitruvius*¹, quando recomenda nos seus livros que para manter as paredes secas, estas devem ser drenadas, se necessário recorrendo a valas com cascalho e restos de carvão. Esta afirmação mostra que o problema das condições ambiente já era considerado nessa altura e estava associado ao conceito de salubridade.

¹ Marcos Vitruvio Polião um engenheiro e arquitecto romano que viveu no século I a.C. e que deixou como legado a sua obra em 10 volumes aos quais deu o nome de *De Architectura*.

Os cuidados adoptados pelos primeiros coleccionadores nas salas onde guardavam os seus objectos eram muito semelhantes aos adoptados por *Vitruvius*, e estavam relacionados com factores directamente dependentes do clima exterior e do edifício, nomeadamente com a temperatura e com a humidade relativa. Devido à falta de dispositivos mecânicos para o controle das condições ambiente (à excepção do aquecimento), utilizavam o próprio edifício como meio de garantir a salubridade nas salas.

O *Ashmolean Museum* de Oxford, criado em 1683, foi um dos primeiros museus onde se teve em consideração a preocupação com meio ambiente museológico. Aquando da sua construção, o dono de obra propõe ao arquitecto “a construção de algumas salas de grandes dimensões, que devem ter lareiras para manter arejadas aquelas peças que o requeiram”[2].

Até aos primórdios do século XIX, o controlo das condições ambiente tinha como principal objectivo assegurar as condições de conforto e de salubridade nas salas onde se encontravam as colecções. Desde o início do século XIX, começa-se a ter a percepção da importância da humidade e consequentemente da temperatura e da poluição na conservação dos acervos museológicos. No entanto, os estudos evoluem apenas no sentido da resolução dos problemas de conservação.

Leonardo da Vinci (1452-1519) foi um grande artista e cientista que dedicou muito do seu tempo ao estudo da atmosfera. Inventou o higrómetro (Figura 2.1), um instrumento para medir a humidade atmosférica, cujo princípio de funcionamento é o da balança.

Para medir o nível de humidade na atmosfera, Leonardo colocava nos pratos de uma balança o mesmo peso de dois materiais diferentes: algodão (material higroscópico) e cera (material não higroscópico). Quando o ar está seco, a balança encontra-se em equilíbrio. Quando a humidade do ar aumenta, o algodão que adsorve essa humidade, passa a pesar mais do que a cera. O desequilíbrio da balança causado pela diferença de peso entre ambos os materiais indica-nos o nível de humidade. Este mecanismo ajuda Leonardo a descobrir a qualidade e a densidade do ar, assim como quando vai chover.



Figura 2.1 — Maquete do higrómetro de *Leonardo da Vinci*.

O primeiro higrómetro de cabelo (Figura 2.2) foi construído em 1783, todavia, só começa a ser utilizado como instrumento de medida da humidade no início do século XIX. Até essa altura as condições ambiente eram definidas pela avaliação sensorial, ou seja, pela análise dos efeitos visíveis sobre os objectos, como por exemplo as gavetas dos móveis, que se abrem mais facilmente em tempo seco, ou as gravuras sobre papel onde aparecem os primeiros sinais do excesso de humidade. Outro referencial adoptado era o estado de conservação dos espaços, onde o aparecimento de bolores indicaria infiltrações de água ou molduras fissuradas significaria que estavam expostas ao ar demasiado seco.

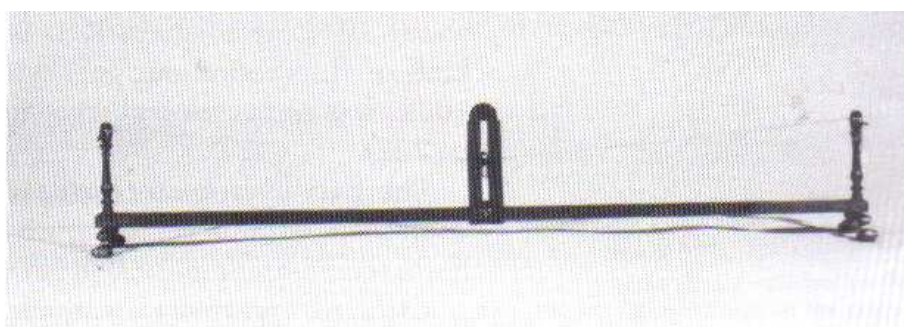


Figura 2.2 — Higrómetro de cabelo [3].

2.2.2 Finais do Século XIX – Inícios do Século XX

A partir da segunda metade do século XIX, começa-se a instalar nos museus dispositivos de aquecimento, com o objectivo de assegurar condições de conforto aos visitantes. Esta forma de actuar que perdura até à década 70 do século XX erra ao considerar: que os objectos existentes não têm qualquer influência na definição das condições ambiente do espaço onde se encontram, que o papel do edifício se limita ao de simples invólucro de protecção e que os valores de temperatura e humidade relativa são dados fixos e universais. Em 1825, com a necessidade de realizar medições rápidas e fiáveis da humidade relativa, *Ernest Felinand August* inventa o psicrómetro.

Para *JP Brown* e *William B Rose* um museu entre meados do século XIX e inícios do século XX devia localizar-se numa zona urbana com rede de drenagem das águas pluviais ligada à rede de saneamento pública, ser construído em alvenaria maciça rebocada e pintada pelo interior, ter uma cave com temperatura estável, caixilharias de madeira ou metálicas com vidro simples, possuir um sótão com grandes clarabóias e um sistema de aquecimento central de caldeira que abastecesse os radiadores situados abaixo das janelas.

Neste período, e para este tipo de edifícios, os valores de humidade relativa praticados na maioria dos museus da Europa e da América do Norte, durante o Verão, situavam-se entre os 60 e os 90 % e no Inverno, esses valores baixavam 10, 20 ou 30 % (função do clima e do grau de aquecimento). No caso de edifícios históricos com ventilação natural, a situação de Verão era idêntica à do caso anterior. No Inverno, com aquecimento realizado apenas pelos fogões de sala, a humidade relativa das zonas ocupadas permanecia constante entre os 60 e os 70 %, no entanto, surge o problema das condensações nas janelas [4].

Logo após a I Grande Guerra Mundial (depois de 1918 – século XX), no Reino Unido surgiram as primeiras tentativas para definir os valores a adoptar para a temperatura e para a humidade relativa em museus. Ao longo do tempo foram realizadas várias experiências, com o objectivo de encontrar valores padrão de temperatura e humidade relativa das pinturas e painéis de madeira, que se revelaram inconclusivas.

Em 1936, *Coremans*, responsável pelo *Central Laboratory of Belgian National Museums*, refere num artigo, que as várias experiências realizadas em diversos locais mostram que os valores “ideais” da temperatura e humidade relativa rondam os 15 °C (59 °F) e os 60 %. Apesar de ter admitido que o controlo a 15 °C de temperatura e 60 % de humidade relativa não era praticável nos museus europeus no Verão, a convicção de que estes valores eram os “ideais” dominaram a literatura da Europa durante os anos de 1930 e 1940.

Com o despoletar da II Grande Guerra Mundial houve a necessidade de armazenar a colecção da *National Gallery* na pedreira de *Manod* no País de Gales. Esta pedreira apresentava uma temperatura constante de 47 °F e uma humidade relativa que variava entre os 95 e os 100 %. Com o objectivo de armazenar as pinturas foram construídos uns abrigos de tijolo que foram aquecidos de forma a manter a temperatura a 17 °C (63 °F) e a humidade relativa a 58 %. Os artefactos que constituem a colecção sobreviveram à guerra em muito bom estado, todavia, as pinturas ao voltarem para o ambiente descontrolado de origem sofreram vários danos, traduzindo assim o lado positivo do clima controlado (estabilizado). Como resultado desta experiência, começaram a ser utilizados sistemas mecânicos numa tentativa de controlar as condições ambiente no interior dos museus. Com o evoluir do tempo foi-se concluindo que a sua instalação e a sua manutenção eram caras e além disso eram pouco fiáveis [4].

2.2.3 Finais do Século XX – Inícios do Século XXI

O grande incremento no estudo dos problemas do meio ambiente museológico foi dado em 1978 com a publicação do livro *The Museum Environment* de *Garry Thomson* onde ele aborda o tema de uma forma sistemática. Dá prioridade às colecções e ordena as características do meio ambiente a partir de um conjunto de factores que nunca tinham sido considerados em conjunto, nomeadamente: a luz, a poluição, a humidade e a temperatura.

Thomson, conselheiro científico da *National Gallery* de Londres, afirma logo no início do capítulo consagrado à humidade que “num museu, o controlo da humidade é muito mais importante do que o controlo da temperatura”. Com esta afirmação, o autor marca o início de uma ruptura que só será claramente assumida, mais tarde em 1994 no Congresso do Instituto Internacional de Conservação, em Ottawa.

A grande novidade é a melhor compreensão de como obter microclimas em locais bem selados utilizando “armazenadores” de humidade, como por exemplo, a sílica gel. Além disso, deu mais atenção às técnicas de medida e de controlo e menos à racionalidade das especificações [2].

Uns anos mais tarde, em 1986 *Thomson* publica a segunda edição do seu livro *The Museum Environmental*, onde introduz ligeiras alterações no que se refere à discussão da humidade. Nessa nova edição, o autor introduz a diferença entre o controlo de museus e de outros edifícios/casas históricas, materializando com a classificação do ambiente em duas classes: Classe 1 e Classe 2 [4].

Desde então, vários foram os autores que abordaram o tema das condições climáticas em museus embora poucos apontaram valores padrão de temperatura e humidade relativa para o ambiente interior.

Em Novembro de 2003, teve início um Projecto de Investigação Internacional “*Annex 41 – Whole Building Heat, Air and Moisture response MOIST-ENG*” da IEA-EXCO *Energy Conservation in Building and Community Systems*, que teve a duração de quatro anos e que envolveu a participação de 24 instituições pertencentes a 18 países. Este projecto teve como objectivo principal aprofundar o conhecimento sobre o balanço de calor, ar e humidade de todo o edifício e o seu efeito no ambiente interior e no consumo de energia. Na *Subtask 4* (desempenho a longo prazo e tecnologia de transferência) abordam-se valores de temperatura e humidade relativa recomendados para o interior dos museus por diversos autores. Os valores recomendados resultaram dos estudos realizados pelo *International Council of Museums – ICOM*, pelo *Garry Thomson*, pelos países de língua alemã, pelo *Burmester* e pela *ASHRAE* [5].

Actualmente, a preocupação do controlo da humidade começa a estar presente em alguns museus, visando a preservação/conservação dos seus acervos. É de salientar que esse controlo cada vez mais é realizado através de métodos activos (sistemas mecânicos) em detrimento dos métodos passivos (próprio edifício), o que é pouco compreensível em edifícios antigos.

2.3 Factores que Influenciam as Condições Higrotérmicas em Museus

Ao longo deste trabalho, apenas a temperatura e a humidade relativa têm sido mencionadas como factores fundamentais de deterioração, contudo, *Thomson* alerta-nos para a importância das colecções nos museus e acrescenta às características do meio ambiente museológico a luz e a poluição [3].

Procurando estudar as condições ambiente no que se refere à relação, por vezes biunívoca, que se estabelece entre os objectos e o edifício, e dado o papel activo que este pode desempenhar nessa relação, Casanovas agrupou os quatro factores ambientais propostos por *Garry Thomson* em dois grupos:

- Factores exteriores ao edifício: aqueles em que o papel do edifício é essencialmente passivo, como por exemplo a poluição e a luz;
- Factores internos ao edifício: a humidade e a temperatura, ou seja, aqueles que podem ser directamente influenciados pelo edifício [2].

Com base nas considerações atrás efectuadas, apresenta-se de seguida uma descrição pormenorizada dos principais factores que influenciam as condições higrotérmicas dos museus (humidade relativa e temperatura), nomeadamente os que estão directamente relacionados com a colecção, o edifício e o clima exterior.

2.3.1 Colecção

A Lei Quadro dos Museus Portugueses define Colecção Museológica visitável como um conjunto de bens culturais conservados por uma pessoa singular ou por uma pessoa colectiva, pública ou privada, exposto publicamente em instalações especialmente afectas a esse fim, mas que não reúna meios que permitam o pleno desempenho das restantes funções museológicas que a presente lei estabelece para o museu [1].

Os objectos museológicos são constituídos e compostos por uma variedade enorme de materiais, como: o mármore, a pedra, a madeira, os têxteis, etc. que têm comportamentos diferentes consoante o tipo de solicitações a que são sujeitos.

Como já foi referido, a falta de controlo das condições higrotérmicas pode causar danos, muitas vezes irremediáveis, nos objectos que constituem as colecções. Por exemplo, existem materiais que se comportam bem quando expostos a humidades muito elevadas, no entanto, quando a humidade relativa e consequentemente o teor de humidade diminuem estes contraem-se e deformam-se. Por outro lado, ambientes muito húmidos são favoráveis ao aparecimento de fungos e ao desenvolvimento de bolores. Na Tabela 2.1, *Vanessa d'Agostino* procura estabelecer uma relação entre as causas e as deteriorações provocadas pelos agentes de degradação: humidade relativa e temperatura.

Tabela 2.1 — Agentes de degradação [6].

Agente de Degradação		Deterioração	Causas
Humidade Relativa	Valores muito altos ou muito baixos	- Bolores - Corrosão (valores elevados) - Diminuição da capacidade resistente (valores baixos)	- Mudança do tempo/clima - Humidade de condensação - Humidade de infiltração - Ventilação insuficiente - Humidade ascensional - Limpeza
	Variações rápidas	- Fracturas - Dobras - Deformações	
Temperatura	Valores altos ou baixos	- Aumento da deterioração - Diminuição da capacidade resistente	- Aquecimento inadequado - Mudança do tempo/clima - Iluminação - Isolamento do edifício insuficiente - Controlo do aquecimento insuficiente
	Variações rápidas	- Fracturas - Dobras - Deformações	

Da tabela acima apresentada, pode-se concluir que:

- As altas temperaturas são prejudiciais para os objectos dos museus, pois potenciam o desenvolvimento de reacções químicas;
- A variação da temperatura do ar ao longo do tempo causa *stress* térmico nos objectos, que por sua vez, provoca dilatações e contracções nos materiais que os constituem. Quando os objectos museológicos são constituídos por diferentes materiais, o problema torna-se mais grave;
- Por sua vez, a humidade relativa tem influência nas dimensões, na forma dos objectos e nos processos químicos e biológicos. Em particular:

- Os materiais orgânicos têm capacidade para adsorver água, pelo que, com o aumento da humidade relativa dilatam e com a diminuição retraem. Com as variações de peso, os materiais deformam-se, partem fibras e fissuram;
- A corrosão dos metais, a descoloração dos têxteis e o enfraquecimento das fibras são reacções químicas que são favorecidas com valores elevados de humidade relativa (> 45 %);
- A conjugação de valores de humidade relativa acima dos 65 %, com valores de temperatura acima dos 20 °C aumenta o risco de desenvolvimento de bolores e acelera o ciclo vital de numerosos insectos [6].

A variação das condições higrotérmicas pode provocar nas colecções três tipos de deteriorações: variação dimensional; reacções químicas e biodeterioração, daí a importância de conhecer bem a constituição da colecção para que se possam prever intervalos de valores de humidade relativa e de temperatura que devem ser praticados no local onde os objectos se encontram.

Os diversos materiais que constituem uma determinada colecção reagem de modo diferente quando expostas a determinadas condições higrotérmicas, podendo assim degradarem-se. Numa perspectiva de preservação, o conhecimento do tipo de colecção a expor é essencial na definição dos valores “ideais” das condições higrotérmicas a controlar no ambiente da exposição. Desta forma, o tipo de colecção condiciona as condições higrotérmicas, pois faz parte dos objectivos do museu conservar/preservar as colecções sem que estas se deteriorem.

No Anexo A apresenta-se uma tabela (Tabela A.1) com condições higrotérmicas de referência, (humidade relativa e temperatura) para diversos tipos de materiais que constituem os acervos museológicos, recolhidas por *Vanessa d’Agostino*.

2.3.2 Edifício

O edifício onde se encontram os objectos museológicos (designadamente o museu) desempenha um papel muito importante na protecção e abrigo das colecções e na definição das condições higrotérmicas/climáticas interiores. Em edifícios antigos, pode-se mesmo considerar o próprio edifício como a principal influência nas condições higrotérmicas interiores.

As condições higrotérmicas no interior dos museus são definidas pelo tipo de edifício, pois este é a fronteira entre as condições exteriores e as condições interiores. No limite, considerando o edifício o mais permeável possível, as condições higrotérmicas interiores seriam idênticas às exteriores, todavia, o que acontece na realidade é que a envolvente edifício diminui ou agrava o efeito das condições climáticas exteriores [7].

Relativamente a um edifício/museu em particular, as condições higrotérmicas interiores variam de sala para sala, devido por exemplo à exposição da radiação solar da sala, à espessura das paredes, ao tipo e espessura de isolamento das paredes, à circulação de ar pelas janelas e portas, à área de vãos envidraçados, ao tipo de ventilação, ao sistema de aquecimento, aos visitantes, etc.

Em edifícios/museus, sem recurso a sistemas de aquecimento, ventilação ou dispositivos de ar condicionado, os materiais de revestimento higroscópicos podem ser outro factor que influencia as condições higrotérmicas interiores. Os materiais higroscópicos são capazes de fixar água por adsorção e de a restituir ao ambiente em que se encontram, em função das variações de temperatura e de pressão parcial de vapor de água.

Sabe-se que a humidade relativa afecta significativamente o conforto e a saúde dos ocupantes, a qualidade do ar, a durabilidade do edifício e dos seus materiais e o consumo de energia. Um estudo numérico realizado em quatro países europeus, Itália, Alemanha, Bélgica e Finlândia, comprova que a transferência de humidade entre o ar interior e uma estrutura higroscópica, nomeadamente a madeira utilizada em edifícios de habitação, reduz significativamente os picos de humidade relativa.

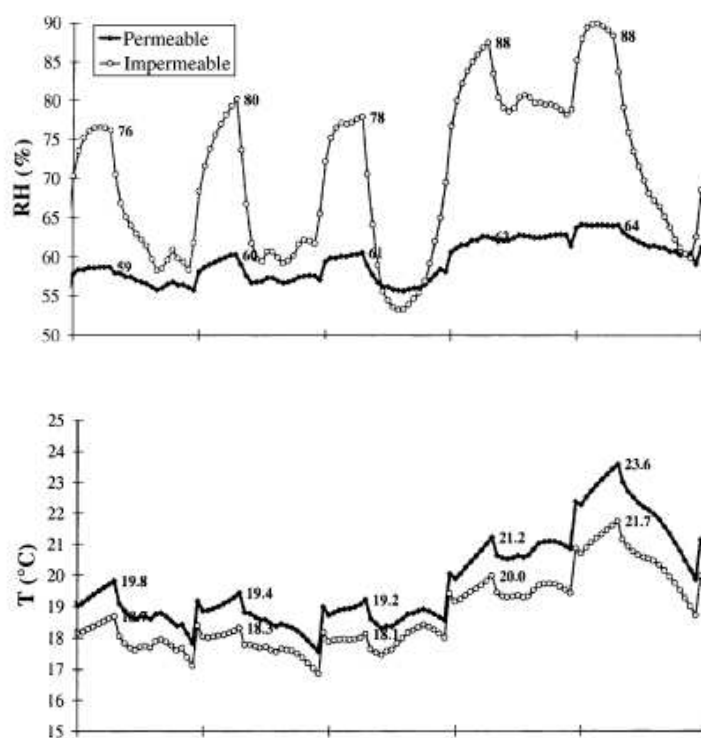


Figura 2.3 — Variação no tempo da humidade relativa e da temperatura, durante a estação de aquecimento na Bélgica [8].

Os autores caracterizaram como permeável uma estrutura higroscópica e impermeável uma estrutura não higroscópica. Com base nesta afirmação, a análise dos gráficos da Figura 2.3, permitiu concluir que no caso da estrutura permeável (utilização de materiais higroscópicos) a temperatura interior é 1 a 2 graus mais elevada que no caso da estrutura impermeável (utilização de materiais não higroscópicos) e a humidade relativa varia entre 55 e 60 % na estrutura permeável e entre os 55 e 90 % na estrutura impermeável [8].

O conceito de Inércia Higroscópica surge associado ao de materiais higroscópicos e define-se como sendo a capacidade que uma sala ou um edifício tem de moderar as variações da humidade relativa do ambiente interior. Estas variações podem ser diárias ou sazonais. O edifício dá um importante contributo passivo na definição das condições climáticas interiores, que podem ser ajustáveis quer ao conforto humano, quer à conservação dos objectos expostos nos museus. Contudo, no que diz respeito aos museus é mais importante ajustar as condições climáticas aos objectos museológicos do que ao conforto humano por questões de preservação/conservação.

2.3.3 Clima Exterior

As condições ambiente interiores dos museus são facilmente influenciadas pelo clima exterior, nomeadamente no que se refere à temperatura interior, que é condicionada pela temperatura e radiação solar exterior, e à humidade absoluta interior que é determinada em grande medida pela humidade absoluta exterior [9].

Portugal continental encontra-se situado entre as latitudes de 37° N e 42° N e as longitudes de 9,5° W e 6,5° W, numa faixa mediterrânica, que em termos climáticos corresponde a uma zona de transição entre o anticiclone subtropical (anticiclone dos Açores) e a zona das depressões subpolares, sendo o clima fortemente influenciado pela proximidade ao Oceano Atlântico. Outro factor que influencia o clima é a orografia da região, com áreas significativas das zonas Norte e Centro a ultrapassarem os 1000 m de altitude [10].

A variação dos factores climáticos como a latitude, a proximidade ao oceano e a orografia, é suficiente para induzir variações significativas na temperatura e, principalmente, na precipitação observadas em Portugal Continental.

É do conhecimento geral que as condições climáticas são modificadas pelo processo de urbanização (Figura 2.4), criando assim um clima característico de uma área urbana em particular, denominado por “microclima urbano”. Quando os dados climáticos exteriores são obtidos de estações meteorológicas, as diferenças que possam existir devido ao microclima, não são consideradas.

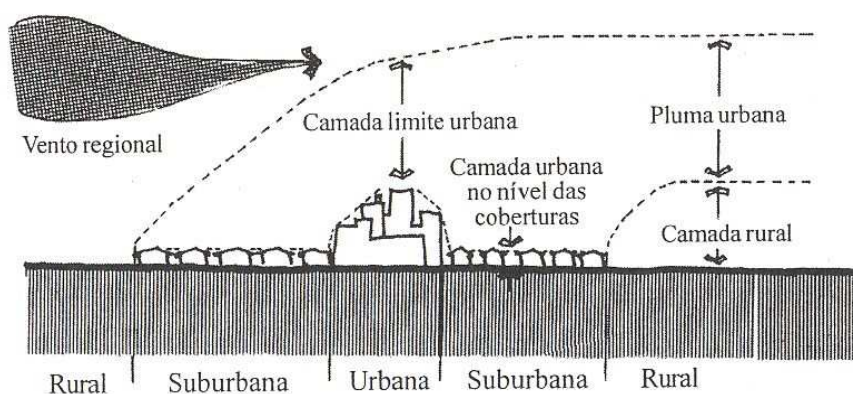


Figura 2.4 — Atmosfera sob influência urbana [11].

Pelo exposto, considera-se importante conhecer as condições climáticas exteriores, contudo, nem sempre é possível medir as condições climáticas no local em estudo ou ter acesso aos registos da estação meteorológica mais próxima.

O novo Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios – RCCTE (Decreto-Lei n.º 80/2006) adopta um zonamento climático para Portugal ao qual estão associados dados climáticos de referência. No entanto, esses dados climáticos são apenas os necessários à aplicação do regulamento, nomeadamente, o número de graus-dias, a duração da estação de aquecimento, a temperatura externa do projecto e a amplitude térmica [12].

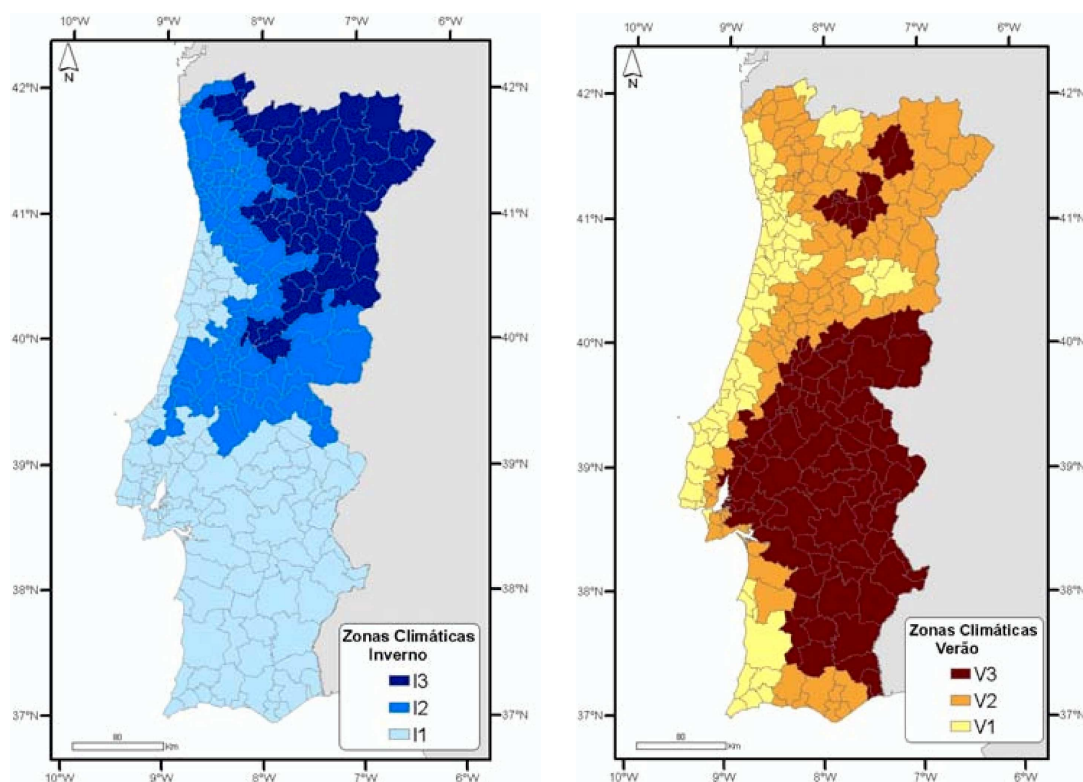


Figura 2.5 — Portugal Continental: zonas climáticas [12].

Os dados climáticos podem ser obtidos através do método “Test Reference Years” (TRY), que utiliza bases de dados de registos de estações climáticas e gera os dados climáticos de um ano para um determinado local. Em Portugal, apenas foi produzido um Ano Climático de Referência para a cidade de Lisboa.

É de referir ainda, que a maior parte dos anos climáticos de referência existentes foram construídos para a análise do desempenho energético e não para a análise do desempenho higríco dos edifícios, o que resulta na falta de valores relacionados com a precipitação e com a utilização de valores médios para diversos parâmetros.

No caso de não existirem dados relativos aos anos climáticos de referência, pode-se utilizar programas como o METEONORM, que nos fornece anos climáticos de referência gerados com base em métodos estocásticos.

O conhecimento das condições climáticas exteriores é de extrema importância para analisar a sua influência no ambiente interior e para definir o tipo de controlo a implementar no interior dos museus. A propósito da relação entre as condições ambiente e o clima exterior, *Garry Thomson* escreveu: “Há duas razões para manter as condições ambiente interiores tão perto quanto possível da média das condições exteriores, seja qual for a localização do museu, primeiro, porque a madeira velha ou nova está adaptada à humidade média habitual e depois, porque, quanto mais perto estivermos das condições exteriores, menor serão os custos de funcionamento do ar condicionado” [3].

2.4 Condições Higrotérmicas “Ideais”

A definição objectiva de valores “ideais” de temperatura e humidade relativa em museus não é simples. Além das condicionantes como o clima exterior e o edifício temos a colecção que, como já vimos, pode ser composta por diferentes tipos de materiais que por sua vez requerem condições higrotérmicas “ideais” diferentes.

Em Portugal existe um conjunto de recomendações muito genéricas elaboradas pela Rede Portuguesa de Museus, no entanto, o recurso a normas nunca teve grande influência na Europa, por isso as entidades responsáveis pelos museus baseiam-se na experiência acumulada ao longo dos anos.

A única referência bibliográfica encontrada, onde sugerem valores de referência das condições higrotérmicas para museus foi uma norma italiana, UNI 10829 – “*Beni di interesse storico e artistico - Condizioni ambientali di conservazione - Misurazione ed analisi*”.

Esta norma tem como objectivo a conservação de acervos situados em museus e não o conforto humano. Define processos de inspecção e de monitorização, classifica os objectos a serem conservados em três grupos (orgânicos, não orgânicos e mistos) e 33 categorias, refere os parâmetros mais relevantes a considerar na monitorização, estabelece o processo a seguir nas medições, define índices de risco, sugere métodos de análise de dados e alguns parâmetros para gerir e avaliar as condições ambientais de risco [6].

Ao longo dos anos, vários foram os autores que tentaram chegar a valores “ideais” de temperatura e humidade relativa para museus. Desde o aparecimento dos primeiros números mágicos, a já referida regra dos 60/60, que significava 60 °F (15 °C) de temperatura e 60 % de humidade relativa em qualquer museu, para qualquer tipo de colecção e em qualquer parte do mundo, foram várias as tentativas para encontrar esses valores.

Garry Thomson é o autor mais vezes referido no que diz respeito a este assunto, citando para a humidade relativa, o valor médio de 55 % com o limite superior 65-70 % de forma a prevenir a formação de bolores e o limite inferior 40-45 % de forma a evitar fendas em algum tipo de materiais, constatando que a humidade relativa deve ser estável. No que se refere à temperatura, e à excepção dos casos de armazenamento a longo prazo, os valores “ideais” são os determinados pelo conforto humano, com um intervalo de 5-10 °C [2].

Nos países de língua germânica, foi publicado um livro “*Sammlungsgut in Sicherheit*” (1981), ao qual foi atribuído uma importância similar ao de *Thomson*. Este livro refere valores de humidade relativa entre 35 e 65 %, com alguma margem de segurança. No que se refere ao conforto dos visitantes as temperaturas de museus deveriam variar entre os 18 e os 25 °C, no entanto, para alguns materiais a temperatura deveria rondar os 16 °C, o que não é praticável.

Como se pode verificar ao longo deste capítulo, até finais do século XX a abordagem das especificações do controlo das condições ambiente nos museus consistia em encontrar um objectivo único relacionado com condições “ideais”.

Em 1999, o Manual da ASHRAE apresenta um capítulo relativo a Museus, Bibliotecas e Arquivos, elaborado em parceria com o Instituto Canadano de Conservação, onde foi possível enquadrar todo o tipo de museus numa especificação rigorosa para o controle das condições ambiente [5].

A Tabela A.2 apresentada no Anexo A, constitui a peça central desse novo capítulo e propõe numerosas opções, tanto em valores recomendados como em flutuações admissíveis. Para cada opção são também apresentados os riscos/benefícios para a colecção, a descrição dos riscos relacionados com as condições ambiente que foram evitados e os que ainda estão presentes. Deste modo, quem consulta a tabela não poderá seleccionar uma opção, mesmo das chamadas “ideais”, sem ser notificado de quaisquer riscos não resolvidos.

Na sequência da publicação do Manual da ASHRAE, *Michalski*, aborda o controlo das condições ambiente a partir da avaliação de risco e desenvolve o conceito de flutuações (humidade relativa ou temperatura) confirmadas. A flutuação confirmada é a maior flutuação (de humidade relativa ou temperatura) a que o objecto foi sujeito no passado, ou seja, o valor mais baixo e o valor mais alto experimentados no passado. Assim, o risco de se agravar a degradação mecânica (para além da que se acumulou no passado) ocasionada por flutuações inferiores às do passado é extremamente reduzido, se a flutuação passada foi suficiente para causar fracturas, o objecto fracturou-se e a fenda só se abre e volta a fechar e se as flutuações do passado não provocaram fracturas, e a resistência do material não se alterou muito, então não há nenhuma razão para pensar numa fractura futura provocada pelas mesmas flutuações.

A análise da flutuação confirmada pode ser aplicada globalmente a uma colecção mista de madeira e pintura por exemplo, contudo, não é aplicável no que diz respeito ao risco de aumento de degradação por bolores e ao risco de envelhecimento químico. O valor confirmado de flutuações também não faz previsões do risco de danos de natureza mecânica se as flutuações forem superiores ao valor confirmado [13].

Como tem vindo a ser referido ao longo deste trabalho, no passado, o controlo ambiental das instituições, organizações e individuais/museus que tomam conta das colecções culturais orientavam-se pela comodidade dos visitantes e do *staff*.

Hoje, vários autores/investigadores mostram-nos que o controle dos parâmetros ambientais se baseia na preservação dos materiais que constituem o acervo museológico.

2.5 Síntese do Capítulo 2

Neste capítulo pretendeu-se apresentar uma síntese do conhecimento mais relevante para o trabalho a desenvolver nesta dissertação. A descrição da evolução ao longo dos tempos das condições higrotérmicas de referência em museus, permitiu verificar que durante muito tempo o conforto dos visitantes e ocupantes prevalecia em detrimento da estabilidade dos objectos expostos.

Thomson, marca o início de uma nova era, salientando que é mais importante controlar a humidade relativa do que a temperatura, pois na maior parte dos casos, as variações de humidade relativa são muito mais perigosas do que as variações da temperatura.

A consideração de alguns factores que influenciam as condições higrotérmicas, nomeadamente a colecção, o edifício e o clima exterior, permite-nos ter uma noção mais abrangente da dimensão do problema e analisar mais detalhadamente a variação das condições higrotérmicas no interior dos museus.

O estabelecimento de valores “ideais” para a temperatura e a humidade relativa no interior de museus, foi estudado por vários investigadores, todavia, a quantidade de factores a considerar num determinado compartimento traduz a complexidade do problema.

Capítulo 3

Caracterização do Clima Interior de um Museu no Sul de Portugal

3.1 Caracterização Sumária do Edifício

A caracterização do clima interior de museus, como já foi referido, é relevante para o conforto dos visitantes do museu e para a conservação das colecções que constituem o acervo museológico. Para que essa caracterização seja possível é necessário monitorizar o ambiente interior e o ambiente exterior. Muitas vezes a monitorização do ambiente exterior não é efectuada e os dados são recolhidos em estações meteorológicas próximas do local ou então são fornecidos pelo Instituto de Meteorologia.

A monitorização do ambiente (interior ou exterior) pode ser pontual ou contínua. A monitorização pontual é obtida por um operador que vai ao local e regista os valores pontuais da temperatura e da humidade relativa. São recomendadas três medições por dia, uma às 8 horas da manhã, outra às 14 horas da tarde e a última ao fim do dia. Os equipamentos indicados para este tipo de monitorização são os psicrómetros e os termo-higrómetros (descritos no Anexo B). A monitorização contínua, como o próprio nome nos indica traduz-se no registo contínuo no tempo dos parâmetros higrotérmicos. Os equipamentos que nos proporcionam este tipo de monitorização são o termohigrógrafo, no qual o tratamento estatístico dos dados é possível mas moroso e os datalogger's, equipamentos utilizados mais recentemente (Anexo B) [6].

No presente capítulo pretende-se caracterizar o clima interior do Museu Municipal de Faro, com base em medições pontuais diárias do ambiente exterior e interior, realizadas e gentilmente fornecidas pela Câmara Municipal de Faro. A descrição sumária do edifício, bem como da colecção e do clima exterior serão também aspectos a ter em consideração na análise e interpretação dos dados disponíveis.

O Museu Municipal de Faro encontra-se hoje instalado no Convento de Nossa Senhora da Assunção da Ordem de Santa Clara, situado no Largo Afonso III, no interior da Cidade Velha, em Faro.



Figura 3.1 — Museu Municipal de Faro – Vista do Claustro [14].

O Convento de Nossa Senhora da Assunção é um magnífico edifício da arquitectura monástica quinhentista e um dos primeiros exemplares da tipologia de claustros proto-renascentistas portugueses. A sua construção teve início em 1519, no local onde funcionou durante séculos a judiaria de Faro. Após alguns anos de interrupção, as obras prosseguiram com o contributo da rainha D. Catarina, esposa do D. João III. Em 1548 ficou concluído o claustro que foi integrado na clausura. Mais tarde, em 1836, após a implantação do Liberalismo e da consequente extinção das Ordens Religiosas, as freiras que lá habitavam, deixam o convento. Em 1860, o edifício é vendido a particulares sendo lá instalada uma fábrica de cortiça. Um século depois, em 1960, o edifício do Convento da Nossa Senhora da Assunção é adquirido pela Câmara Municipal de Faro para lá instalar o Museu Municipal [15].

O edifício de características renascentistas é constituído por uma Igreja que apresenta uma planta longitudinal de nave única com coro alto coberto por abóbada de canhão. Para o claustro abrem várias dependências quadrangulares e rectangulares com volumes articulados.

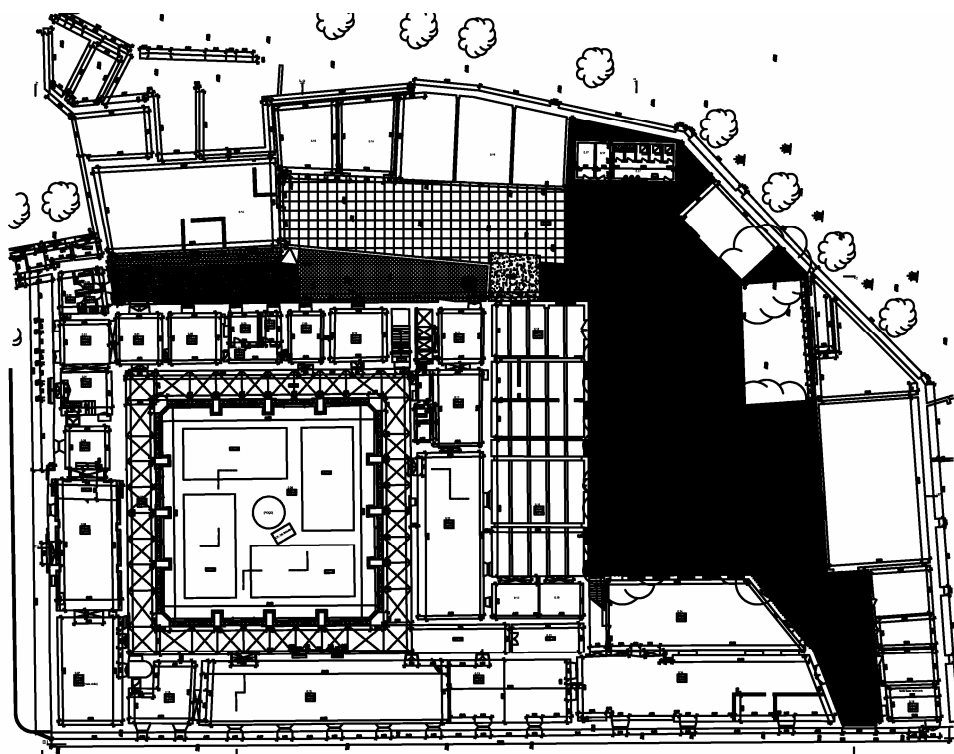


Figura 3.2 — Planta do edifício do Museu Municipal de Faro [14].

A sua construção é do tipo tradicional, com paredes exteriores em alvenaria de pedra, rebocada e pintada ou com superfícies em pedra à vista. As coberturas são inclinadas e revestidas a telha cerâmica do tipo canudo assentes directamente sobre a laje inclinada. Destacam-se uns corpos emergentes como a cúpula da Igreja, a cobertura da sala de pintura e a escadaria de acesso ao Piso 1. O remate da fachada é feito pelo beiral do telhado e as saídas de drenagem de águas pluviais apresentam a configuração de gárgulas, sem tubos de queda.

No claustro os tectos são rebocados e pintados com arcadas de volta inteira em pedra e o pavimento é revestido a tijoleira regional de barro. Os tectos do Piso 1 são em madeira. As caixilharias são em madeira pintada, alguns vãos dispõem de portadas interiores em madeira outros não [14].

O Museu Municipal, o segundo museu criado no Algarve, foi inaugurado a 4 de Março de 1894, por ocasião do V Centenário do nascimento do navegador Infante D. Henrique, sob a denominação de “Museu archeologico lapidar, Infante D. Henrique”.

O seu espólio ficou exposto em três salas do edifício dos Paços do Concelho, e a abertura ao público, ocorreu na presença do Rei D. Carlos e da Rainha D. Amélia no dia 9 de Outubro de 1897. Em 1914, o espólio é transferido para o Convento de Santo António dos Capuchos onde permanece até 1969, data em que transita para as actuais instalações, no antigo Convento de Nossa Senhora da Assunção. As novas instalações do Museu Municipal só foram inauguradas em 1973.



Figura 3.3 — Museu de Faro. Sala de Pintura [2].

As colecções do Museu abrangem principalmente as áreas de Arqueologia, História da Arte e Etnografia. O acervo arqueológico provém do Algarve e abrange um período cronológico desde a pré-história até ao século XVIII, destacando-se a época romana (epigrafia, mosaico, escultura). De entre os objectos mais relevantes apontam-se como exemplos da época romana um mosaico dos séculos II/III, os bustos imperiais de Adriano e Agripina e um acervo de epígrafes de Ossonoba. Outra colecção de grande qualidade é a de pintura antiga dos séculos XVI a XIX, composta por espécimes religiosos pertencentes a templos algarvios. O Museu possui também um acervo muito heterogéneo proveniente de diversas doações onde se destaca a Colecção de Cartazes, com cerca de 400 exemplares, do início do século XX [16].



Figura 3.4 — Sala de Epigrafia e Lapidária [2].

A cidade de Faro, distrito do Algarve, apresenta ao longo de todo ano, as melhores condições climáticas da Europa. O seu clima é caracterizado por escassos períodos de precipitação, que normalmente ocorrem entre Novembro e Março, e por uma alta insolação. O seu relevo e a sua posição geográfica potenciam o facto do Algarve receber variadíssimas influências climáticas: do continente europeu ao norte de África, do Oceano Atlântico ao Mediterrâneo. As temperaturas máximas variam, ao longo do ano, entre os 15 e os 31 °C, não se registando mínimas negativas no Inverno [17].

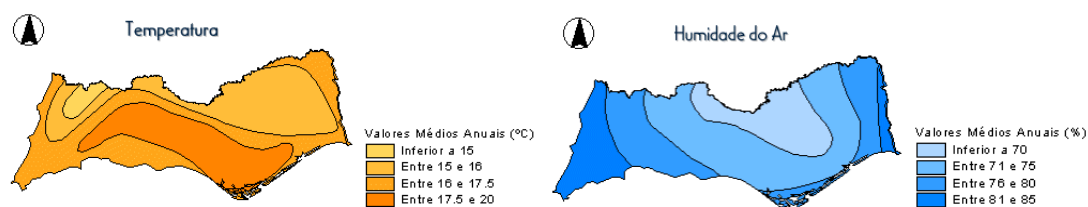


Figura 3.5 — Temperatura e humidade do ar no distrito do Algarve [18].

3.2 Medições Realizadas

As medições foram realizadas pela Câmara Municipal de Faro e tiveram lugar durante o ano de 2005, em algumas salas do museu. Enumeram-se de seguida alguns aspectos a ter em consideração na análise e interpretação dos resultados obtidos.

- Durante os períodos mais frios são utilizados aquecedores e desumidificadores nas salas de exposição e reservas para aquecer e reduzir a humidade relativa do ar, no entanto, o seu funcionamento é intermitente;
- Não existem sistemas mecânicos de ventilação ou de climatização;
- Todas as salas de exposição têm portas de acesso ao exterior (claustro), que se mantêm abertas durante o período de funcionamento do museu;
- As paredes do edifício, de considerável espessura são em alvenaria de pedra à vista ou rebocadas e pintadas;
- O museu encontra-se localizado numa zona ribeirinha em que o nível freático se encontra a poucos metros abaixo da cota zero;
- O clima de Faro no Verão é seco e quente e no Inverno é frio e húmido.

No Piso 0 as salas medidas e das quais possuímos resultados foram a Sala 14, a Sala 16, a Sala 19 e a Sala 36. Na Figura 3.6 apresenta-se a planta do Piso 0 com a respectiva identificação das salas.

Nem todas as salas em análise são salas de exposição. No que se refere ao Piso 0, a Sala 14 é destinada a reservas do acervo, a Sala 16 é uma sala destinada à exposição de mosaico, a Sala 19 é a chamada Sala Islâmica, onde são expostos objectos provenientes da cidade islâmica de Santa Maria (Faro) e a sala 36 é uma sala destinada a anexo/armazém.

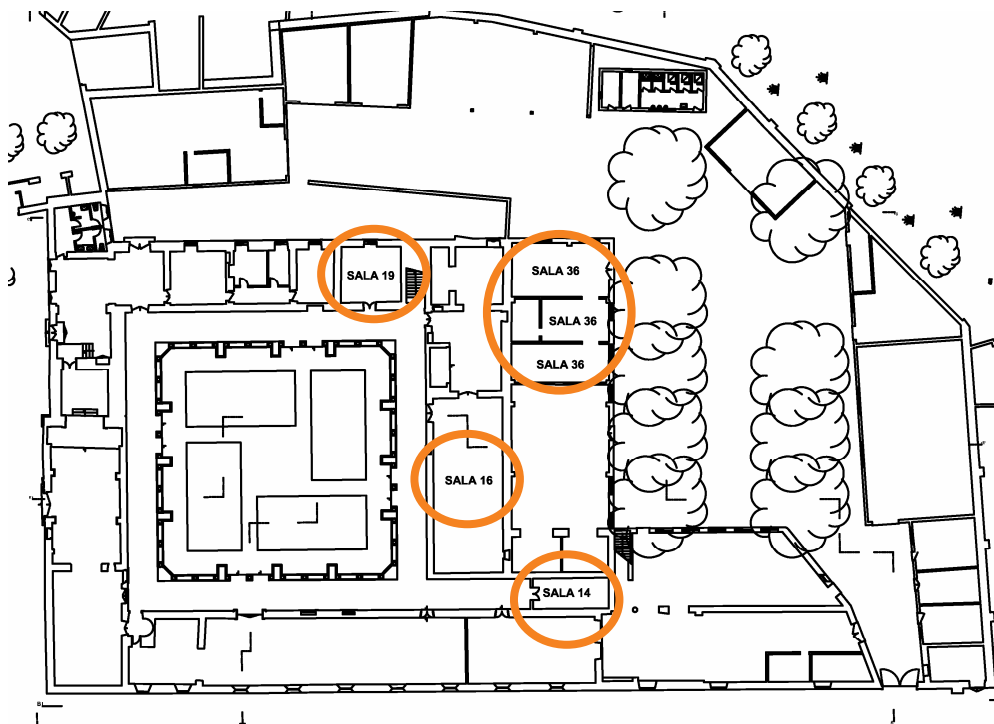


Figura 3.6 — Museu Municipal de Faro – Piso 0.

Para cada sala, apresenta-se de seguida os gráficos dos registos médios diários, ao longo do ano de 2005, da temperatura e humidade relativa interior e exterior.

Apresenta-se também um outro gráfico que traduz a variação da Pressão Parcial de Vapor de Água, P_v , interior e exterior e que se obtém com a aplicação da expressão (1). A pressão parcial de vapor de água é a pressão que o vapor de água existente no ar exercia se ocupasse individualmente o mesmo volume ocupado pela mistura de ar considerada [19].

$$P_v = \frac{P_s \times HR}{100} = \frac{611 \cdot e^{\left(\frac{a \cdot T}{T' + T}\right)} \cdot HR}{100} \quad (1)$$

em que:

P_s — Pressão de saturação (Pa);

HR — Humidade Relativa (%);

e — Número de Nepper;

T — Temperatura ($^{\circ}\text{C}$); $a = 22,44$; $T' = 272,44$ $^{\circ}\text{C}$ – para $T < 0$ $^{\circ}\text{C}$;

$a = 17,08$; $T' = 234,18$ $^{\circ}\text{C}$ – para $T \geq 0$ $^{\circ}\text{C}$.

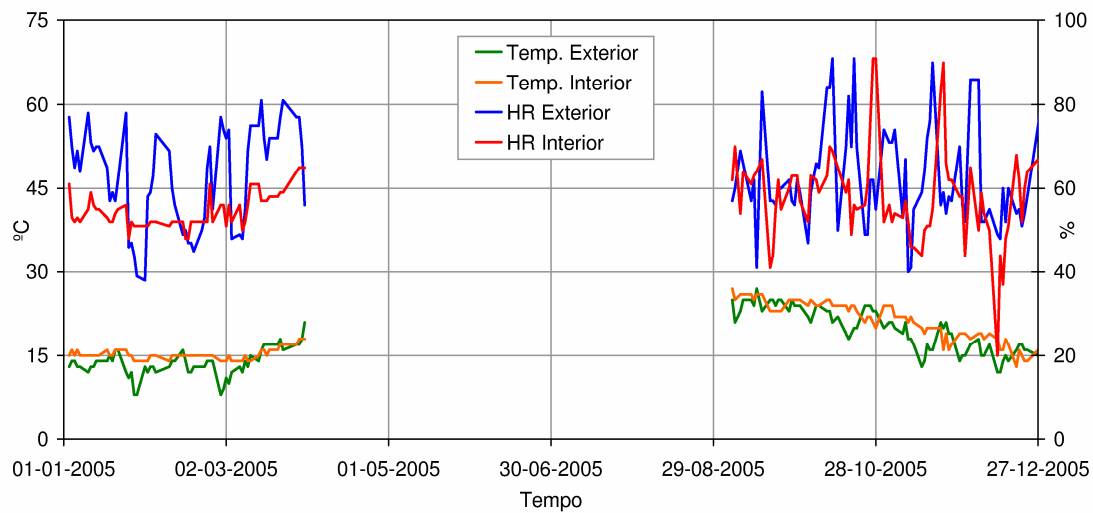


Figura 3.7 — Temperatura e humidade relativa – Piso 0, Sala 14.

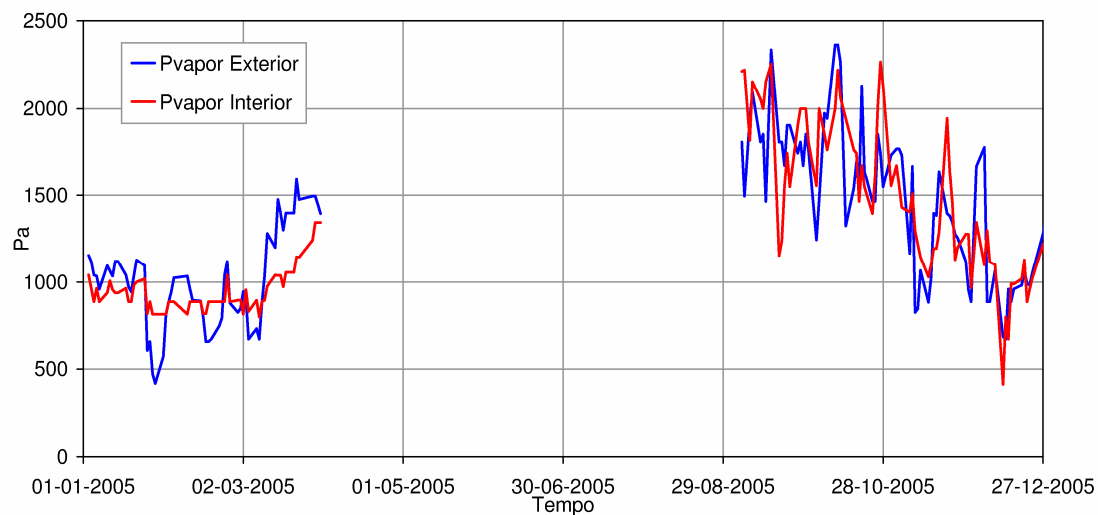


Figura 3.8 — Pressão de vapor – Piso 0, Sala 14.

Como já foi referido, a sala 14 encontra-se localizada no Piso 0 e destina-se ao armazenamento dos objectos não expostos. Numa primeira análise das figuras atrás apresentadas (Figura 3.7 e Figura 3.8) pode-se afirmar que a medição das condições higrotérmicas na sala 14 estiveram suspensas de Abril a Agosto, o que corresponde aos meses de Primavera e Verão. É também de salientar, a diferença existente na variação das condições higrotérmicas interiores face à solicitação exterior, quando se compara o primeiro período de medição com o segundo.

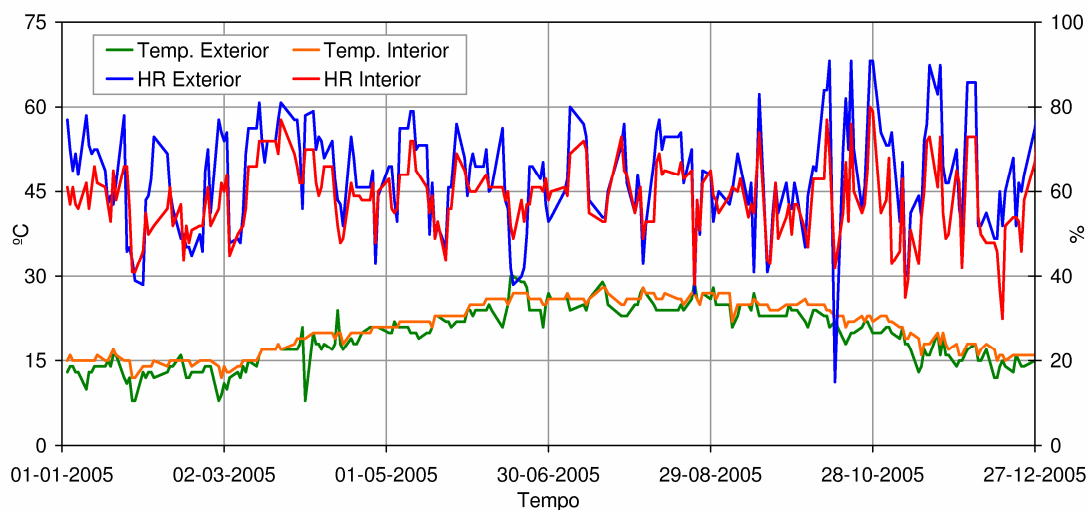


Figura 3.9 — Temperatura e humidade relativa – Piso 0, Sala 16.

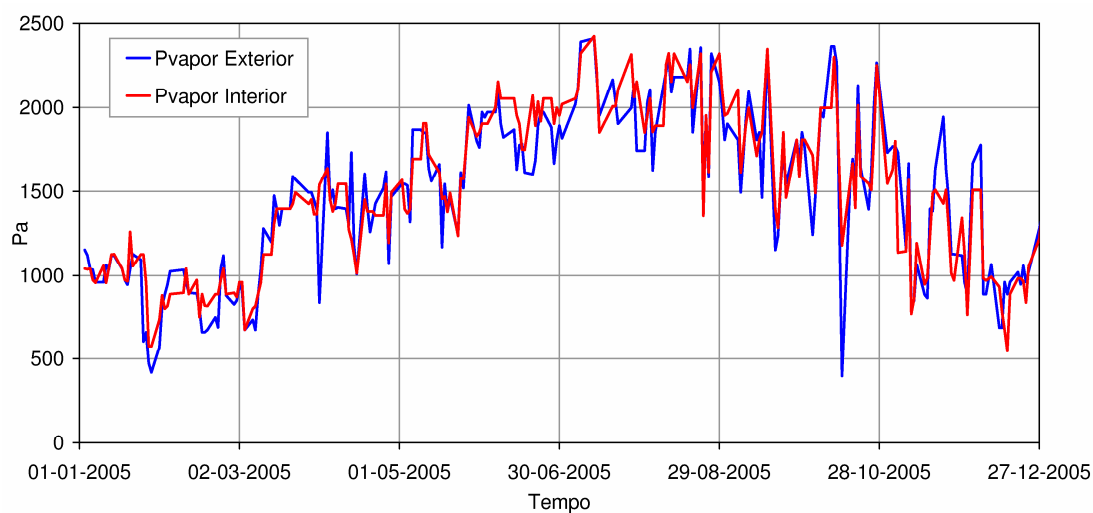


Figura 3.10 — Pressão de vapor – Piso 0, Sala 16.

A sala de exposição do mosaico, ou a sala 16 como é identificada na Figura 3.6, apresenta as condições higrotérmicas interiores representadas nos gráficos da Figura 3.9 e da Figura 3.10. Os registos foram efectuados ao longo de todo o ano de 2005 e pela observação dos gráficos podemos afirmar que o clima interior, mais precisamente, a humidade relativa interior, varia em conformidade com o clima exterior, ou seja, com a humidade relativa exterior.

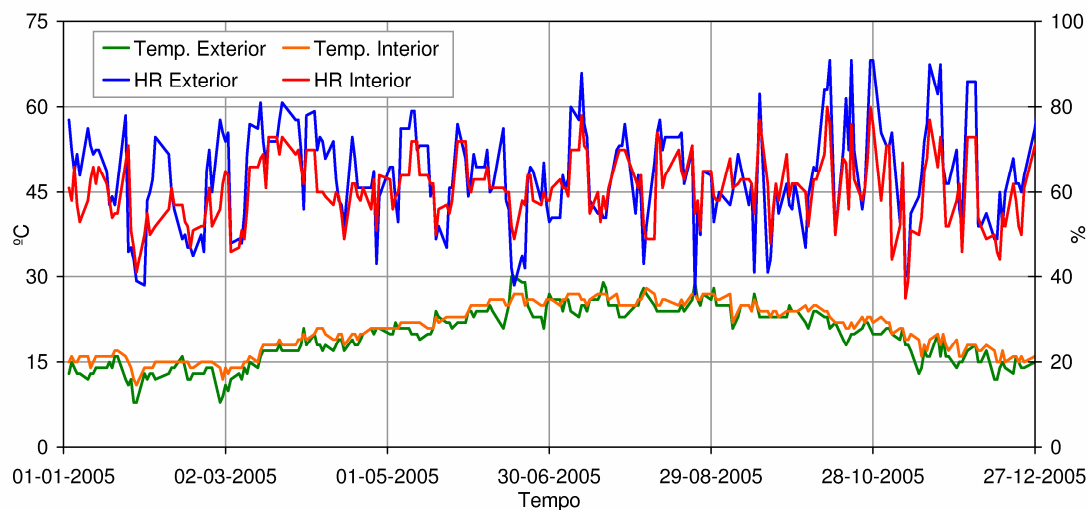


Figura 3.11 — Temperatura e humidade relativa – Piso 0, Sala 19.

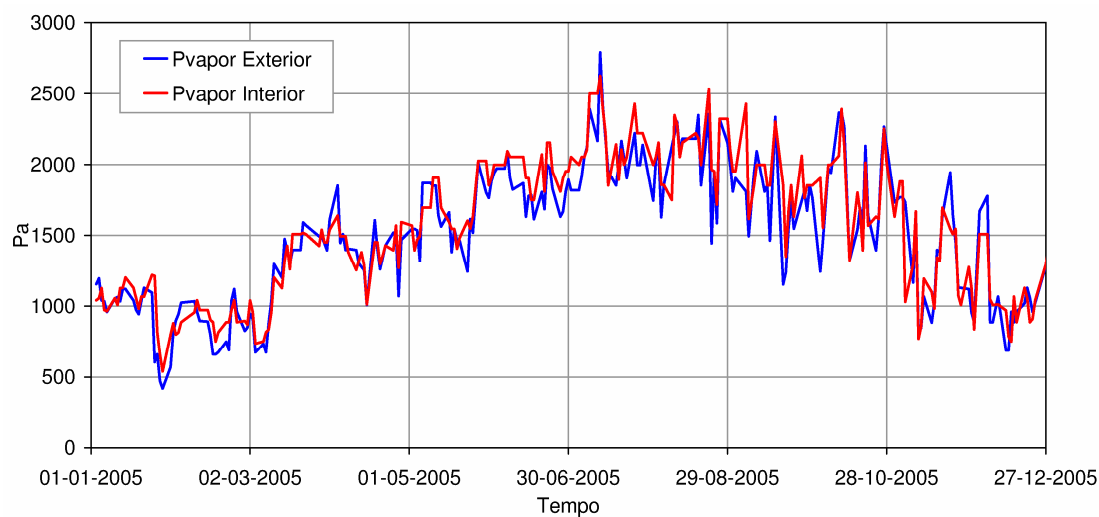


Figura 3.12 — Pressão de vapor – Piso 0, Sala 19.

As condições higrotérmicas registadas na sala 19 – Sala Islâmica podem ser observadas nas Figura 3.11 e Figura 3.12. O comportamento higrotérmico da sala 19, é praticamente idêntico ao da sala 16, principalmente no que diz respeito à resposta do ambiente interior, face à solicitação exterior.

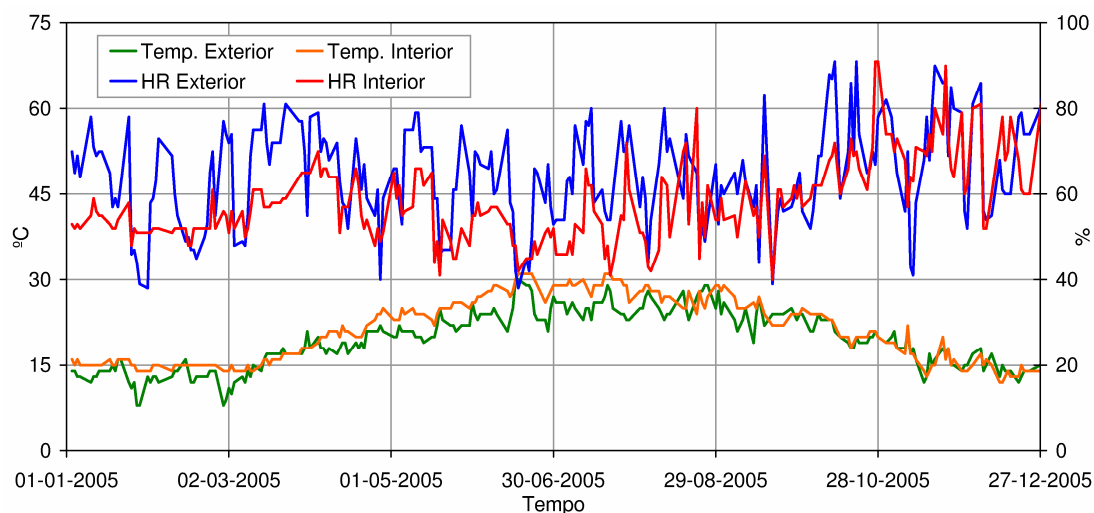


Figura 3.13 — Temperatura e humidade relativa – Piso 0, Sala 36.

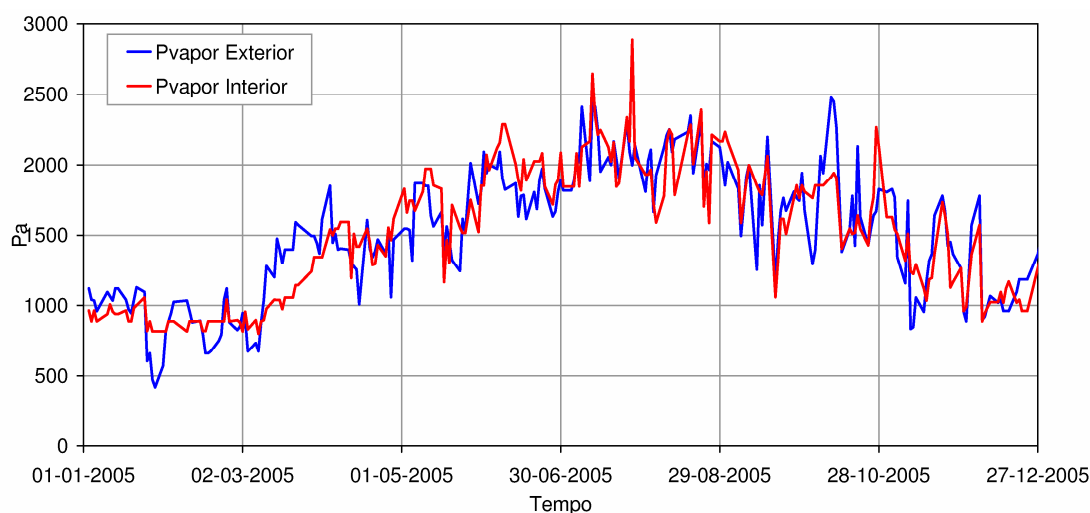


Figura 3.14 — Pressão de vapor – Piso 0, Sala 36.

A sala 36 foi mais uma das salas monitorizadas no Piso 0 e a variação das suas condições higrotérmicas pode ser analisada nos gráficos acima apresentados. A sala 36 funciona como um anexo/armazém do museu, pelo que deve ter um comportamento idêntico ao da sala 16, onde se encontram as reservas.

À excepção do período de medição e registo das condições higrotérmicas, que na sala 14 não abrange o ano 2005 na sua globalidade, a variação é em tudo semelhante inclusive no que se refere à diferença de comportamento entre os três primeiros meses do ano e os restantes.

No que refere ao Piso 1 (Figura 3.15) as salas monitorizadas foram as Salas 23, 24 e 25 e as Salas 26, 27 e 28. Na Figura 3.15 apresenta-se a planta do Piso 1 com a respectiva identificação das salas.

A Sala 23, 24 e 25 destinam-se a exposições temporárias e as Salas 26, 27 e 28 são as chamadas salas Carlos Porfírio, onde estão expostas as obras do pintor com o mesmo nome.

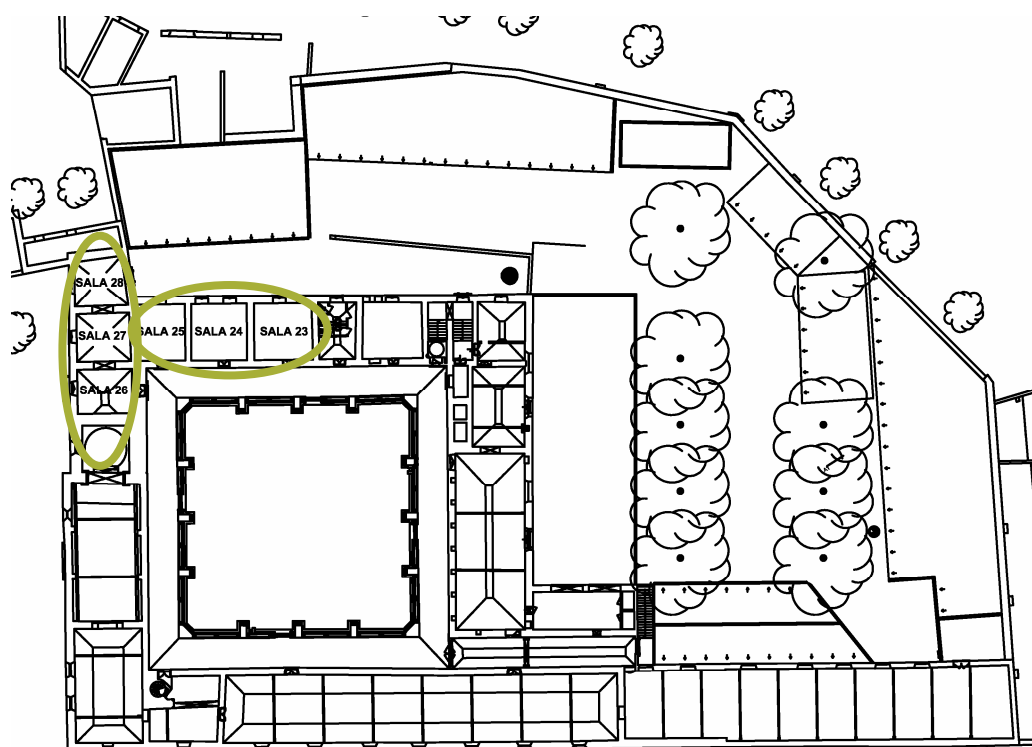


Figura 3.15 — Museu Municipal de Faro – Piso 1.

Da monitorização realizada no Piso 1, apenas resultaram dois conjuntos de registos: um para as salas 23, 24 e 25 e outro para as salas 26, 27 e 28. Para cada conjunto de registos apresentam-se de seguida os gráficos da variação dos valores médios diários da temperatura, humidade relativa e pressão de vapor interior e exterior medidos ao longo do ano de 2005.



Figura 3.16 — Temperatura e humidade relativa – Piso 1, Salas 23, 24 e 25.

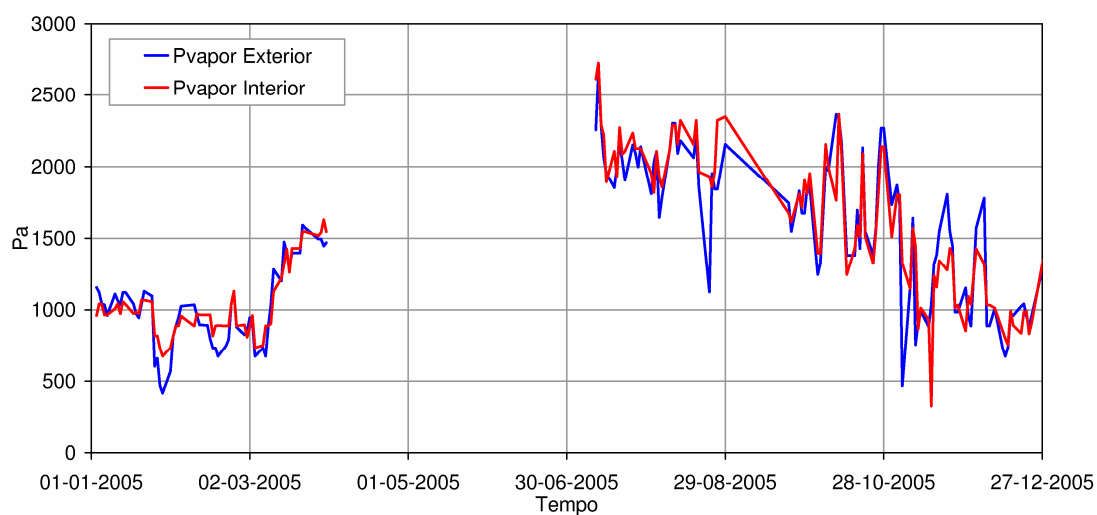


Figura 3.17 — Pressão de vapor – Piso 1, Salas 23, 24 e 25.

As salas que albergam as exposições temporárias, as salas 23, 24 e 25 apresentam um clima interior traduzido pela Figura 3.16 e pela Figura 3.17. As medições foram interrompidas entre Abril e Junho, que provavelmente corresponde a um período em que as salas não receberam exposição alguma. De acordo com o que acontece no Piso 0, as salas do Piso 1 encontram-se abertas para o claustro, o que justifica o paralelismo evidente entre as condições higrotérmicas interiores e as exteriores.

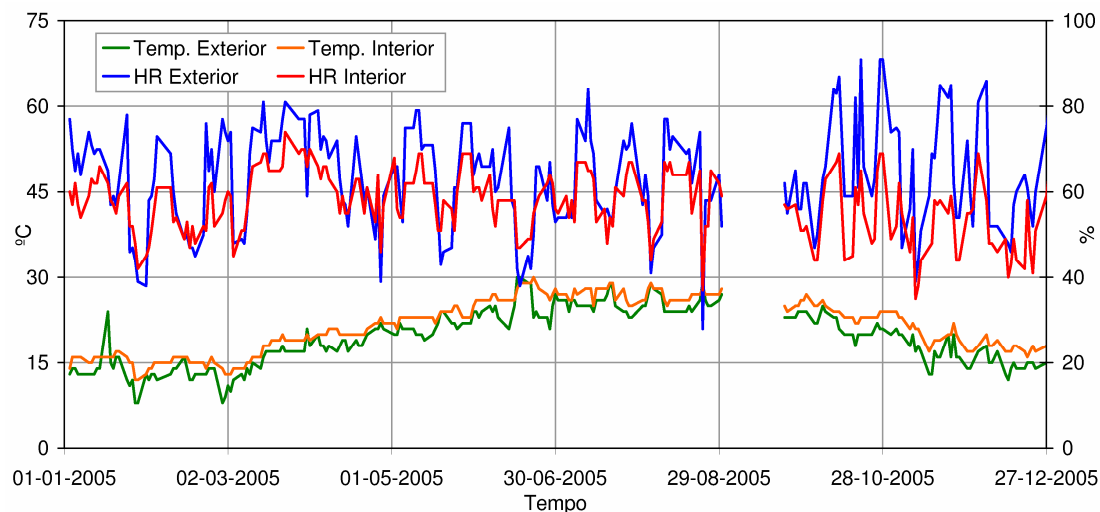


Figura 3.18 — Temperatura e humidade relativa – Piso 1, Salas 27, 28 e 29.

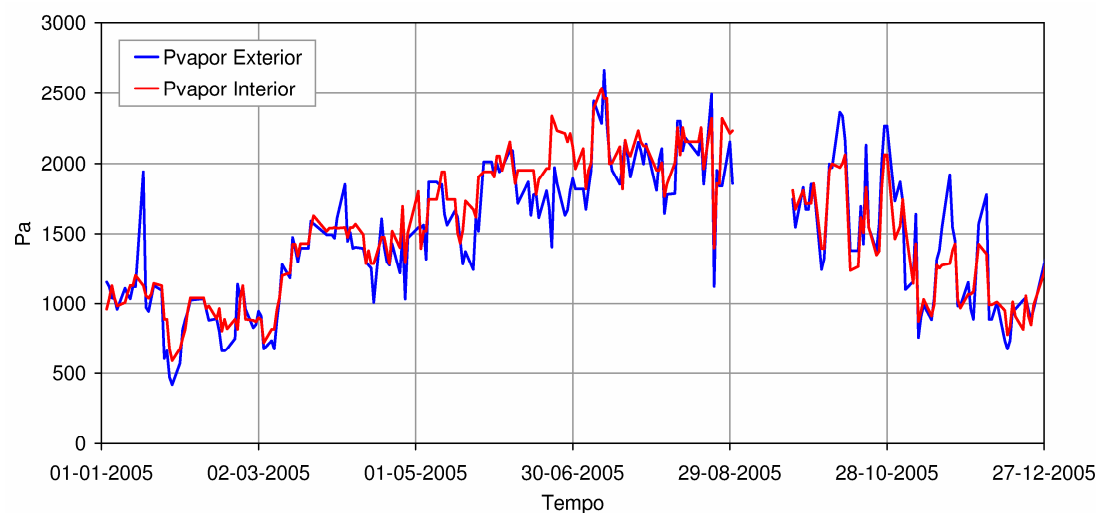


Figura 3.19 — Pressão de vapor – Piso 1, Salas 27, 28 e 29.

Relativamente aos resultados obtidos nas salas 27, 28, e 29 onde se encontra patente a exposição de Carlos Porfírio, e como se pode observar nos dois gráficos atrás expostos, apenas não existem registos durante o mês de Setembro. À semelhança do que se verificou na análise das salas 23, 24 e 25, a variação das condições higrotérmicas, nomeadamente da humidade relativa no interior das salas 27, 28 e 29 também acompanha as condições higrotérmicas exteriores, designadamente a humidade relativa exterior, e tal como no caso anterior justifica-se pelo facto das salas do Piso 1 também se encontrarem com as portas abertas para o exterior.

3.3 Análise e Interpretação dos Resultados

O desconhecimento do tipo de ventilação dos diferentes espaços, do horário dos registos (manhã e tarde), dos períodos exactos da utilização de dispositivos de aquecimento e desumidificação, etc. dificulta e condiciona a análise dos valores obtidos. Além disso, seria de esperar que durante a estação de Verão se obtivesse valores máximos de temperatura exterior superiores aos registados. No entanto, através da análise dos dados podemos compreender melhor o clima interior do museu.

Não será efectuada uma análise exaustiva do desempenho de todas as salas, pois não é nosso propósito realizar um estudo exaustivo de cada sala de exposição, mas apenas das condições climáticas gerais do museu, de modo a avaliarmos o efeito da inércia higroscópica.

Os gráficos apresentados na subsecção anterior encontram-se resumidos na Tabela 3.1 que se apresenta de seguida.

Tabela 3.1 — Condições higrotérmicas – Valores médios.

Sala	$T_{Ext,m} \pm \sigma_p$ (°C)	$HR_{Ext,m} \pm \sigma_p$ (%)	$P_{Ext,m} \pm \sigma_p$ (Pa)	$T_{Int,m} \pm \sigma_p$ (°C)	$HR_{Int,m} \pm \sigma_p$ (%)	$P_{Int,m} \pm \sigma_p$ (Pa)
Sala 14	17,0 ± 4,5	63,0 ± 12,0	1269,5 ± 432,3	18,5 ± 4,0	56,8 ± 9,0	1261,7 ± 435,0
Sala 16	19,3 ± 5,1	63,3 ± 12,2	1470,8 ± 474,9	20,7 ± 4,5	58,5 ± 8,6	1484,0 ± 465,0
Sala 19	19,5 ± 5,0	63,8 ± 11,7	1498,7 ± 473,1	20,8 ± 4,4	60,6 ± 8,0	1546,1 ± 478,3
Sala 23, 24 e 25	18,0 ± 5,2	63,7 ± 12,7	1378,1 ± 519,2	20,0 ± 4,8	56,8 ± 9,3	1396,8 ± 520,3
Sala 26, 27 e 28	19,3 ± 5,0	63,4 ± 11,9	1471,2 ± 473,3	21,4 ± 4,7	57,0 ± 7,7	1509,8 ± 471,3
Sala 36	19,5 ± 5,1	64,5 ± 11,6	1505,6 ± 459,1	21,1 ± 5,7	58,5 ± 9,8	1511,2 ± 467,9

Ao analisar a tabela anterior podemos constatar que, em geral, os valores médios da temperatura e humidade relativa interior se encontram muito próximos dos valores médios da temperatura e humidade relativa exterior. Com base neste facto, podemos concluir que o clima interior é bastante influenciado pelo clima exterior, o que faz todo o sentido se tivermos em consideração que as portas exteriores das salas de exposição se encontram abertas durante o período de funcionamento do museu.

Analisando mais detalhadamente os resultados obtidos pode-se constatar o seguinte:

- As temperaturas interiores são um ou dois graus centígrados superiores às temperaturas exteriores;
- Durante o Inverno as temperaturas interiores são em média inferiores a 16 °C;
- As temperaturas máximas registadas no interior do edifício ultrapassaram os 26 °C chegando a atingir algumas vezes os 30 °C;
- As salas do piso superior – Piso 1, sobretudo durante o Verão, atingem uma temperatura interior mais elevada do que as salas do piso inferior – Piso 0;
- A maioria dos valores registados da humidade relativa interior está compreendida entre 45 % e 75 %;
- As oscilações diárias e sazonais dos níveis de temperatura e humidade relativa nas salas de exposição são elevadas e influenciadas pelo clima exterior, enquanto que nas reservas (quase sempre fechadas) são muito “estáveis”.

Ao comparar a variação dos parâmetros ambientais das salas de exposição (Salas 16, 19, 23, 24, 25, 26, 27 e 28) de pequena dimensão e com portas abertas durante o funcionamento do museu com os parâmetros ambientais das salas de reservas ou anexos (Sala 14 e 36) que se encontram a maior parte do tempo fechadas, encontramos algumas diferenças, principalmente no que diz respeito às medições realizadas no 1º trimestre de 2005.

A Sala 14 apresenta um comportamento muito idêntico ao da sala 36, chegando mesmo a ser coincidente no período relativo ao 1º Trimestre de 2005 (Figura 3.20).

No que diz respeito às restantes salas, estas apresentam comportamentos semelhantes entre si, mas diferem bastante do das salas 14 e 36. Comparando por exemplo os gráficos das pressões de vapor da Sala 14 e da Sala 19, representados na Figura 3.8 e na Figura 3.12, observa-se que as pressões de vapor interior variam de forma diferente.

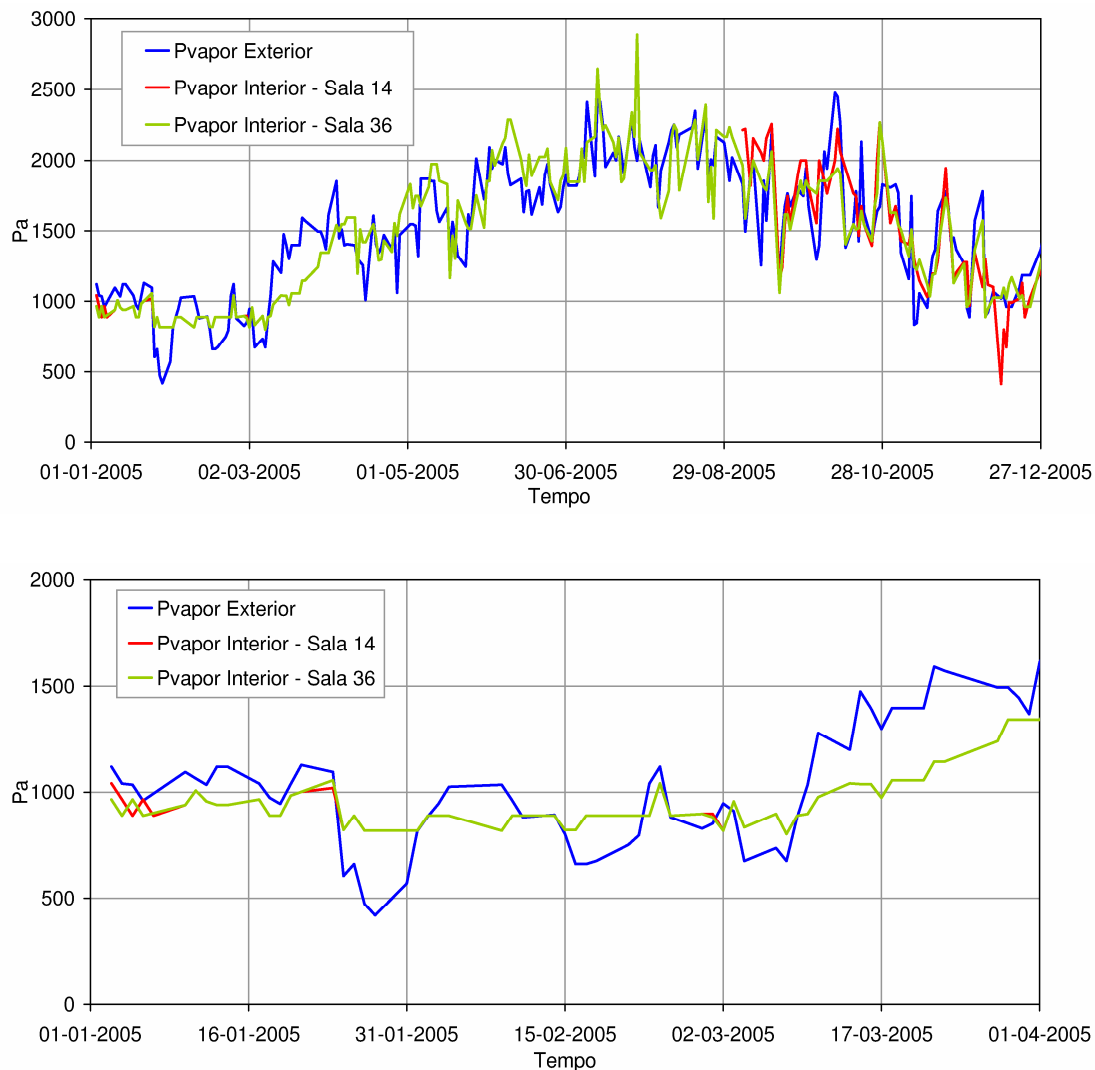


Figura 3.20 — Comparação das pressões de vapor entre a Sala 14 e a Sala 36.

Um estudo experimental desenvolvido pelo LFC, numa habitação unifamiliar localizada no Porto e ocupada apenas pelos investigadores durante o período de trabalho, permitiu retirar algumas conclusões sobre a inércia higroscópica sazonal. Como resultado desse estudo obteve-se o gráfico apresentado na Figura 3.21 que evidencia a variação da humidade relativa interior e exterior ao longo de um determinado período de tempo. A humidade relativa interior é superior à humidade relativa exterior devido à produção de vapor existente no local.

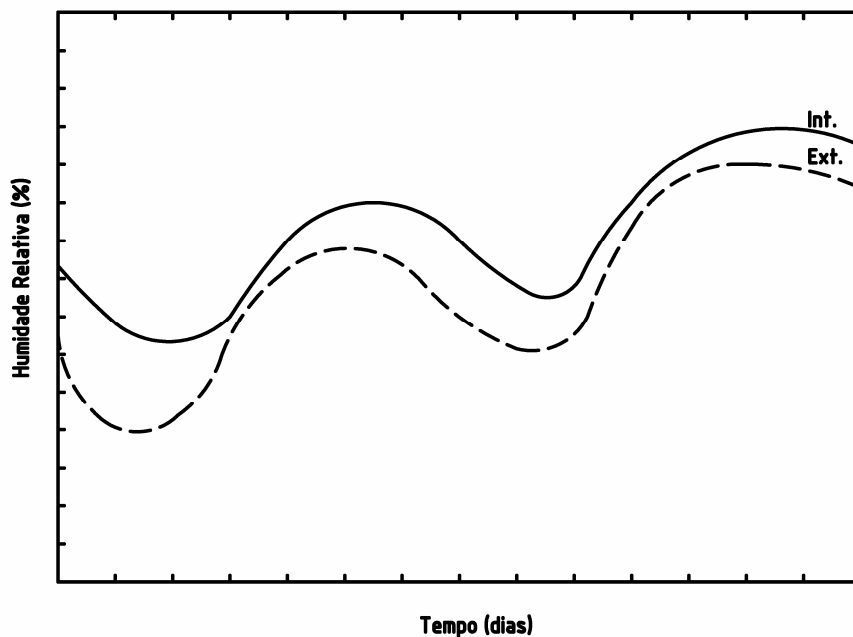


Figura 3.21 — Variação da humidade relativa exterior e interior [20].

Como se pode constatar, não existe um paralelismo entre as curvas da humidade relativa interior e exterior mas uma aproximação quando a humidade exterior aumenta e um afastamento quando a humidade interior diminui. Esta perturbação ocorre quando os materiais higroscópicos interagem com o ambiente até atingirem o equilíbrio e traduz o efeito da inércia higroscópica [20].

No que se refere ao Museu Municipal de Faro e analisando particularmente a variação das pressões de vapor na sala 14 no período correspondente ao 1º Trimestre de 2005 (Figura 3.22), verificamos que esta sala tem um comportamento análogo ao da sala do estudo anterior, isto é, há um amortecimento dos picos da pressão de vapor. Refira-se que não há produção de vapor no seu interior.

Na Sala 19 (Figura 3.22) a curva da variação de pressão de vapor interior praticamente acompanha a curva de variação da pressão de vapor exterior, enquanto que na Sala 14 a variação da pressão de vapor interior é muito menos acentuada que a variação da pressão de vapor exterior, notando-se mesmo algum desfasamento.

O gráfico da Figura 3.22 representa as médias diárias das pressões de vapor e evidencia o efeito de amortecimento correspondente à inércia higroscópica sazonal (efeito visível a longo prazo).

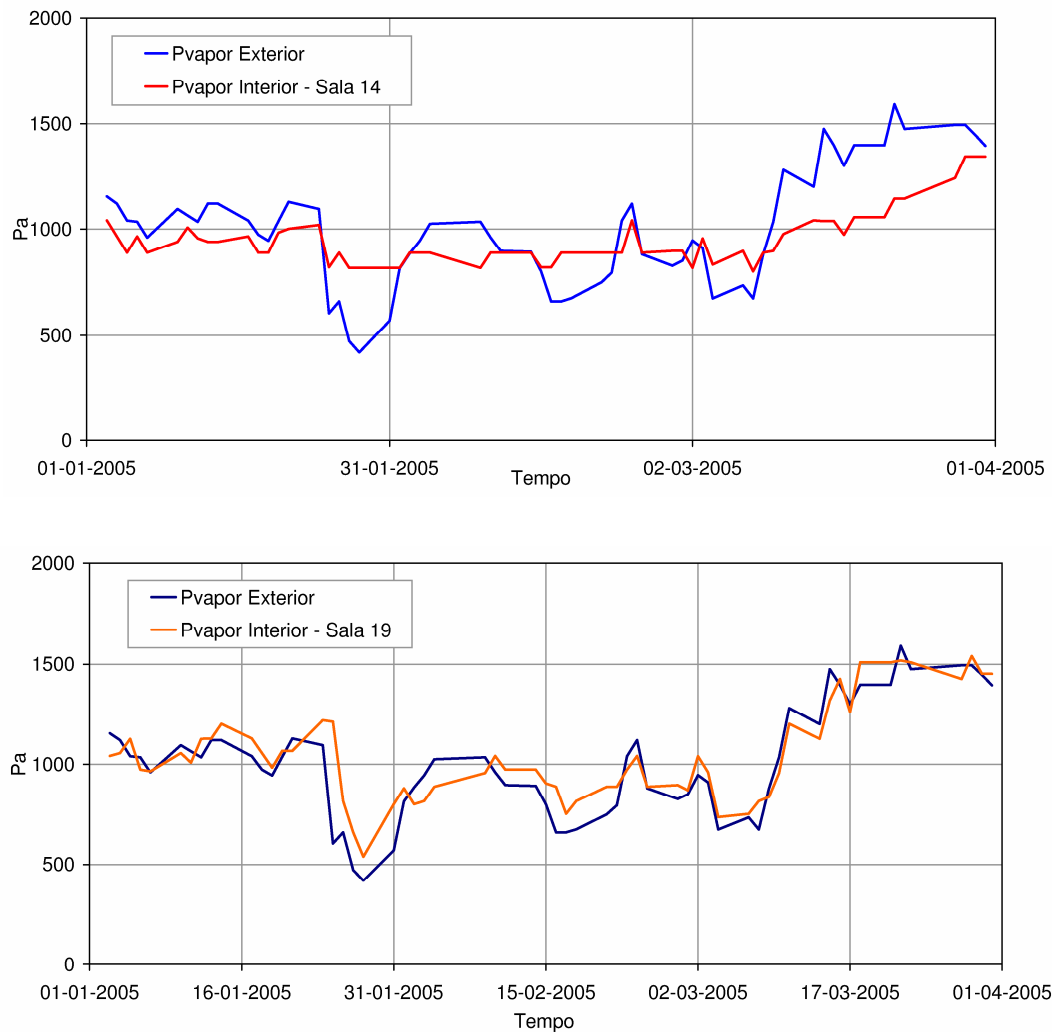


Figura 3.22 — Comparação das pressões de vapor interior entre as Salas 14 e 19.

Comparando os intervalos de variação dos valores de temperatura e humidade relativa do Museu Municipal de Faro, com os valores “ideais” definidos por *Thomson* podemos afirmar que o clima interior deste museu é aceitável. Como o Verão em Faro é bastante quente e seco, é normal que as temperaturas praticadas no interior do museu também sejam ligeiramente superiores ao que seria desejado. No que diz respeito à humidade relativa, esta encontra-se dentro dos limites apontados por *Thomson*, entre os 40 e os 70 %.

No que se refere à avaliação com base nos critérios de *Ambrósio* (Anexo A), esta é mais complexa devido ao facto de numa mesma sala coexistirem diversos tipos de materiais, que se comportam de forma diferente e que assim possuem valores de temperatura e de humidade relativa “ideais” diferentes.

O controlo das condições higrotérmicas no interior do Museu Municipal de Faro é considerado bastante eficaz, principalmente no que diz respeito à humidade relativa. Este tipo de controlo é possível em museus instalados em edifícios antigos devido às suas paredes espessas e aos revestimentos higroscópicos que permitem a retenção de água acumulada nas estações mais frias e a lenta evaporação destas para o interior do edifício, facilita a humedificação do espaço durante as estações mais quentes e secas, mantendo assim, um nível de humidade relativa estável durante grande parte do ano.

3.4 Síntese do Capítulo 3

A descrição sumária do edifício, no que diz respeito ao seu tipo de construção, o conhecimento do tipo da colecção que alberga e do clima exterior de Faro, permitiram analisar e avaliar os resultados das medições fornecidas do Museu Municipal de Faro. Com a compilação de toda esta informação, pudemos constatar que este museu português constitui uma prova viva de que é possível utilizar o próprio edifício no controlo das condições higrotérmicas interiores.

Como pudemos verificar, o facto das portas de algumas salas de exposições se encontrarem abertas para o exterior durante o horário de funcionamento traduz-se numa importante influência do clima exterior no clima interior, no entanto, esta pode ser reduzida com a implementação de antecâmaras na entrada das salas de exposição.

Da análise estatística realizada neste capítulo, concluímos ainda que as condições higrotérmicas interiores do Museu Municipal de Faro se encontram dentro dos limites “ideais” definidos por *Thomson*.

Capítulo 4

Estudo Experimental para Avaliar a Influência da Inércia Higroscópica nas Condições Higrotérmicas Interiores

4.1 Introdução

O objectivo fundamental desta dissertação corresponde à avaliação experimental do efeito da inércia higroscópica nas condições higrotérmicas interiores. Essa avaliação é importante, nomeadamente no que diz respeito à preservação/conservação dos acervos que os museus albergam.

O efeito da inércia higroscópica já foi várias vezes ensaiado com diferentes tipos de abordagens. As principais diferenças residem no tipo e dimensão dos dispositivos de ensaio e no nível de controlo dos parâmetros do próprio ensaio.

Para o alcance dos objectivos propostos nesta dissertação, procurou-se adaptar a infra-estrutura laboratorial, desenvolvida no Laboratório de Física das Construções – LFC que é caracterizada detalhadamente nas subsecções seguintes. Segundo o autor, o nível de controlo dos parâmetros de teste, a facilidade de modificação da configuração do ensaio e a possibilidade de repetição ilimitada definem claramente a infra-estrutura concebida como um equipamento inovador e decisivo para o estudo da inércia higroscópica [9].

A inércia higroscópica, num edifício pode ter um efeito a curto prazo ou um efeito a longo prazo. O efeito a curto prazo, traduzido por um amortecimento das variações diárias da pressão de vapor interior, chamamos inércia higroscópica diária. A inércia higroscópica sazonal, o efeito a longo prazo, reflecte-se na evolução das pressões de vapor e humidade relativa ao longo de um ano.

4.2 Infra-estrutura de Ensaio

Como já foi referido, a infra-estrutura de ensaio utilizada pertence ao Laboratório de Física das Construções no entanto, foi ligeiramente adaptada. A infra-estrutura de ensaio é constituída por uma câmara de fluxo inserida numa câmara climática, com ligação ao exterior através de uma mangueira de PVC e com monitorização das condições exteriores e interiores através de dataloggers. A Figura 4.1 pretende representar esquematicamente a infra-estrutura de ensaio.

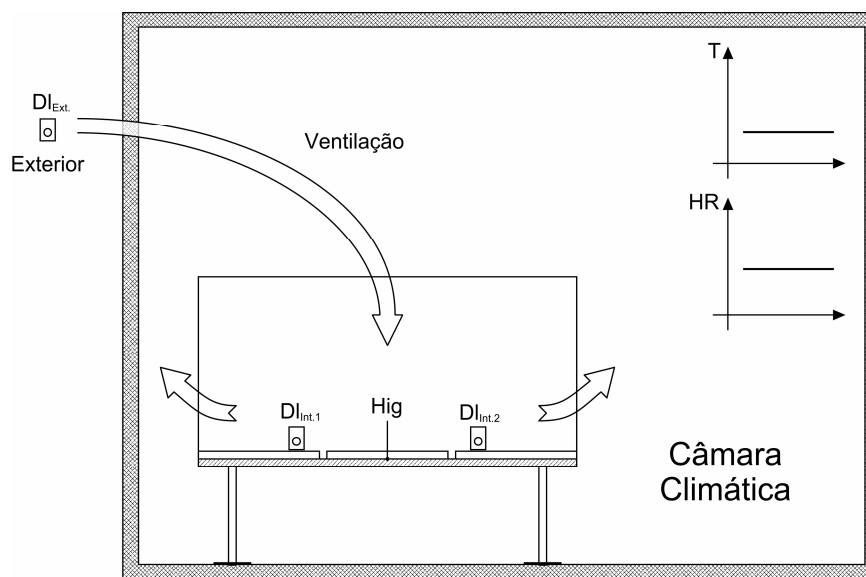


Figura 4.1 — Representação esquemática da infra-estrutura de ensaio.

A utilização desta infra-estrutura na realização dos ensaios teve em consideração os seguintes aspectos:

- A câmara de fluxo procura reproduzir um compartimento, no que diz respeito ao seu comportamento higríco, e assim avaliar o efeito da inércia higroscópica, ou seja, a influência de diferentes revestimentos na variação da humidade relativa;
- A área para a colocação do material higroscópico na câmara está relacionada com a área de materiais higroscópicos dum compartimento;
- Apesar da câmara de fluxo ser dotada de um sistema de produção de vapor, para os ensaios esta não foi considerada;

- A ventilação foi estabelecida através do sistema que a câmara de fluxo dispõe, e que permite dentro de uma determinada gama, a escolha do número de renovações horárias praticadas em museus;
- A ligação câmara climática com exterior foi concretizada por uma mangueira de PVC transparente com cerca de 15 m de comprimento;
- A câmara climática foi mantida a uma temperatura de 23 °C e a uma humidade relativa de 50 %;
- As condições de temperatura e humidade relativa foram monitorizadas de 5 em 5 minutos.

4.2.1 Câmara Climática

A Câmara Climática utilizada faz parte do equipamento do Laboratório de Física de Construções – FEUP e foi desenvolvida para satisfazer os mais rigorosos ensaios climáticos exigidos pela normalização em geral. A câmara, uma Fitoclima 3600 EDTU do tipo “walk-in”, permite um controlo da temperatura entre os +15 °C e os +35 °C, com uma precisão de $\pm 0,5$ °C e da humidade relativa entre os 30 e os 90 %, com uma precisão de ± 2 %. O controlo é efectuado através de um programador electrónico, materializado por um écran sensível ao toque, onde se pode definir a variação da temperatura e da humidade relativa.



Figura 4.2 — Câmara Climática tipo “walk-in” – Fitoclima 3600 EDTU.

A câmara de fluxo foi concebida de forma a que pudesse ser instalada no interior da câmara climática, assim esta teve que obedecer a determinados requisitos, designadamente às dimensões.

Durante o decorrer dos ensaios a câmara foi mantida a uma temperatura de 23 °C e a uma humidade relativa de 50 %, de modo a que as variações do clima interior não influenciassem as condições higrotérmicas no interior da câmara de fluxo.

4.2.2 Câmara de Fluxo

Como já foi referido, a câmara de fluxo é um modelo à escala reduzida de um determinado compartimento que se pretende estudar. A câmara é representada por uma caixa de acrílico que tem 1500 mm de comprimento, 524 mm de largura e 584 mm de altura. A caixa possui três aberturas que permitem aceder ao seu interior, introduzindo assim os elementos necessários ao ensaio. Aparentemente, essas aberturas são estanques ao ar.

A câmara de fluxo encontra-se dotada ainda se um sistema de produção de vapor e de um sistema de ventilação. O sistema de produção de vapor não vai ser utilizado, todavia, é de salientar que o sistema está preparado para produzir vapor continuamente numa gama de 1 a 20 g/h.



Figura 4.3 — Câmara de Fluxo do LFC.

O sistema de ventilação da câmara de fluxo foi concebido para que as trocas de ar fossem realizadas ao nível da câmara climática, ou seja, o ar insuflado na caixa de acrílico era o ar controlado pela câmara climática que voltava a ser extraído para a câmara. A admissão de ar era realizada através de um orifício localizado na face superior da câmara e resultava da compensação imposta pelo caudal extraído.

O sistema extrai o ar do interior da câmara em dois pontos, e é constituído por uma bomba acoplada a uns tubos que entram na câmara pela superfície superior. O caudal de ar é controlado por dois rotâmetros com precisões diferentes e que possibilita a reprodução das renovações horárias praticadas em diversos tipos de compartimentos. Este sistema permite a adopção de valores entre $0,26 \text{ h}^{-1}$ e 17 h^{-1} , bem como a ventilação nula.

No que refere à infra-estrutura de ensaio adoptada, o princípio foi ligeiramente alterado. As trocas de ar passam a ser realizadas com o exterior através de uma mangueira de PVC, que conduz o ar exterior até ao interior da câmara de fluxo. A mangueira entra na câmara climática pelo passa tubos e na câmara de fluxo pelo orifício localizado na face superior. A admissão de ar também resulta da compensação imposta pelo caudal extraído.

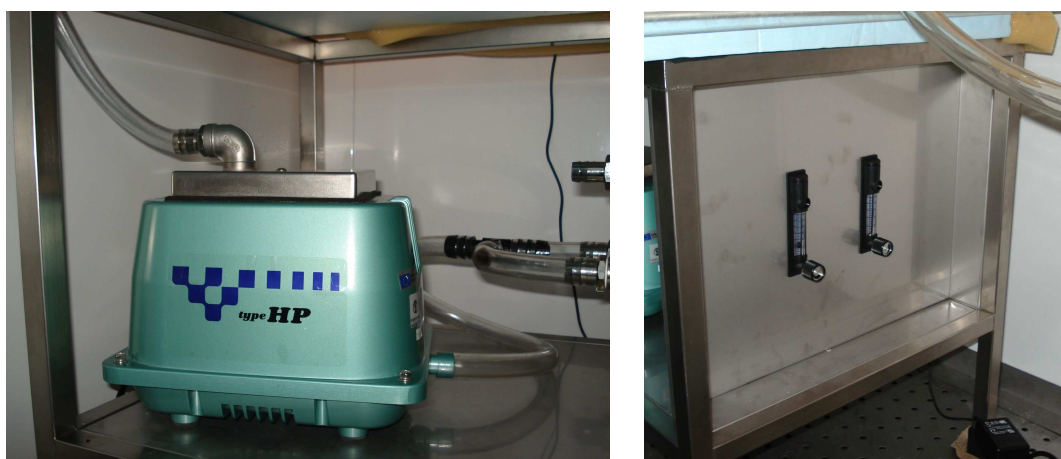


Figura 4.4 — Sistema de ventilação da câmara de fluxo. Bomba de ar e rotâmetros de controlo.

4.2.3 Dataloggers

O equipamento utilizado na monitorização exterior e interior da temperatura e humidade relativa nos ensaios realizados foram os dataloggers (Figura 4.5). A íntima relação entre os valores da temperatura e da humidade relativa de um ambiente foi o principal factor a ter em conta na escolha do equipamento, assim sendo, faz todo o sentido que se utilize um único aparelho de medida [21].

Na escolha do equipamento considerou-se entre outros parâmetros: a continuidade do registo e seu armazenamento, o manuseio do equipamento, a calibração, a precisão dos resultados, a capacidade de memória e a duração da bateria [22].

Os dataloggers utilizados na monitorização da temperatura e humidade relativa dos ensaios realizados foram os R3120 da *Comet System*. São portáteis com sensores internos, concebidos para medir a temperatura e a humidade relativa em intervalos de tempo programados, com base nesses valores calcularem a temperatura ponto de orvalho e registarem num determinado instante os dados numa memória interna.



Figura 4.5 — Dataloggers R3120 – *Comet System*.

Os dataloggers vêm do fabricante pré-instalados, no entanto, para os configurar e os pôr em funcionamento é necessário utilizar um *software* de livre utilização e configurar o cabo adaptador USB.

Para que se proceda à recolha de informação é necessário ligar o datalogger com o cabo ao computador e proceder ao *download* dos registos. Os registos podem ser exportados em formato *txt* e depois podem ser abertos com o Excel.

Tabela 4.1 — Parâmetros técnicos dos dataloggers R3120.

Temperatura Ambiente	Amplitude da Medição	-30 a 80 °C
	Resolução	0,1 °C
	Precisão	±0,4 °C
Humidade Relativa	Amplitude da Medição	0 a 100 %
	Resolução	0,1 %
	Precisão	±2,5 % (HR entre 5 e 95 % a 23 °C)
Temperatura Ponto de Orvalho	Amplitude da Medição	-60 a 80 °C
	Resolução	0,1 °C
	Precisão	±0,5 °C (de 30 a 95 %)
Intervalo entre Cada Registo	Modo Standard	10 segundos a 24 horas (20 passos)
	Modo low-power	1 minuto a 24 horas (17 passos)
Modos de Funcionamento	Noncyclic	O datalogger pára quando a memória está cheia
	Cyclic	Quando a memória está cheia os dados novos são gravados sobre os antigos
Capacidade de Memória	Noncyclic	16252 Valores de T + HR
	Cyclic	15296 Valores de T + HR
Autonomia da Bateria	Modo Standard (download 1 vez por semana)	3 Anos
	Modo low-power (download 1 vez por semana)	7 Anos
	On-line com 1 minuto de intervalo	Mínimo 1 ano
	On-line com 10 segundos de intervalo	Mínimo: 2 anos
Tipo da Bateria		Lítio 3.6 V AA
Comunicação com o Computador		Adaptador USB
Dimensões		93 x 64 x 26 mm
Peso (incluindo a bateria)		105 g

No exterior da câmara de fluxo, foi colocado um datalogger mesmo junto à entrada do ar, com o objectivo de monitorizar as suas características. No interior foram utilizados dois dataloggers, apoiados na superfície inferior da câmara de fluxo de forma a ficarem em simetria em relação à entrada de ar.



Figura 4.6 — Posicionamento dos dataloggers no exterior e no interior.

Antes de dar início aos ensaios do presente estudo experimental, realizou-se um teste preliminar que teve como objectivo a avaliação da qualidade dos valores registados pelos dataloggers da *Comet System*. O teste consistiu na introdução de dois dataloggers *Comet System* dentro da câmara de fluxo monitorizada por um conjunto de 5 sondas de temperatura e humidade relativa modelo *HygroClip SC04* de acordo com a Figura 4.7.

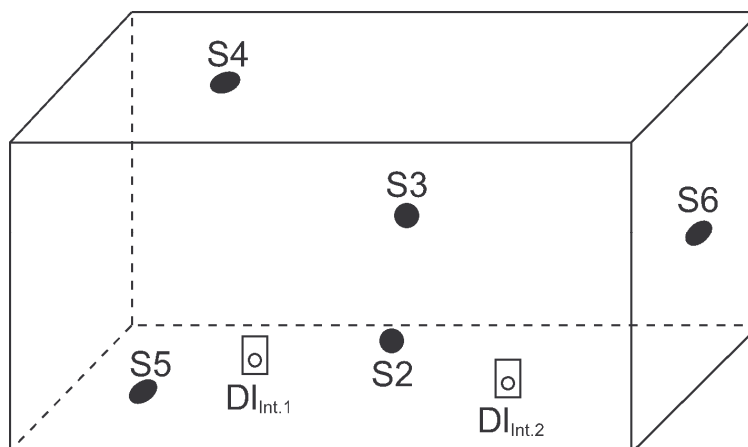


Figura 4.7 — Posicionamento dos dataloggers e das sondas.

Os resultados obtidos na avaliação da qualidade dos valores registados pelos dataloggers da *Comet System* apresentam-se na Figura 4.8. É de salientar que a opção pela análise da variação da humidade relativa, deve-se ao facto deste ser o parâmetro fundamental na avaliação do efeito da inércia higroscópica.

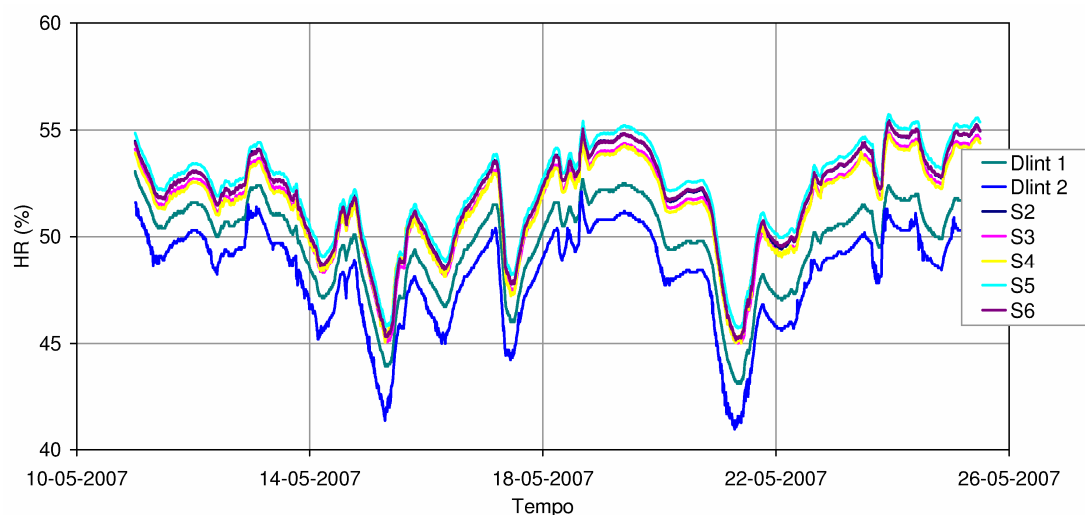


Figura 4.8 — Registos de humidade relativa dos dataloggers e das sondas.

Observando o gráfico anterior, constata-se que as medições da humidade relativa registadas pelas várias sondas (S2, S3, S4, S5 e S6) são praticamente coincidentes, no entanto, quando comparadas com as medições registadas pelos dataloggers, verificamos que estas apresentam uma variação paralela mas ligeiramente afastada.

Relativamente à posição ocupada pelos sensores e pelas sondas, podemos afirmar que o datalogger 1 está próximo da Sonda 5, enquanto que o datalogger 2 está próximo da sonda 2. Como já foi referido, as sondas registam valores muito próximos, o que significa que o factor “localização” tem pouca influência. A diferença existente entre as leituras das sondas e as leituras dos dataloggers não pode ser justificada pelo facto das posições serem diferentes, mas sim pelo facto dos dataloggers da *Comet System* apresentarem uma precisão de $\pm 2,5$ %.

Como neste estudo, apenas serão utilizados dataloggers e estes apresentam a mesma gama de precisão, a sua utilização não influenciará significativamente os resultados.

4.3 Ensaios Preliminares

4.3.1 Configuração dos Ensaios

Os ensaios realizados permitiram a combinação de alguns dos parâmetros definidores da infra-estrutura ensaio, nomeadamente o caudal de ventilação e a introdução ou não de materiais higroscópicos dentro da câmara de fluxo.

Definiu-se que a câmara climática seria mantida a uma temperatura de 23 °C e a uma humidade relativa de 50 %. Os dataloggers foram programados para medir e registar as condições higrotérmicas interiores e exteriores de 5 em 5 minutos, intervalo julgado suficiente para o tipo de análise a realizar.

Na primeira fase ensaiou-se a câmara de fluxo vazia de forma a avaliar a inércia higroscópica da câmara. Numa segunda fase, revestiu-se a superfície inferior da câmara de um material higroscópico com o intuito de analisar essa influência no ambiente interior. O material higroscópico utilizado foi o gesso cartonado (Figura 4.9), material já ensaiado no LFC e que possui uma elevada capacidade higroscópica específica. Os provetes de gesso cartonado introduzidos na câmara de fluxo têm uma área de 0,75 m² (0,50 m x 0,50 m), a face superior está exposta as restantes foram impermeabilizadas.

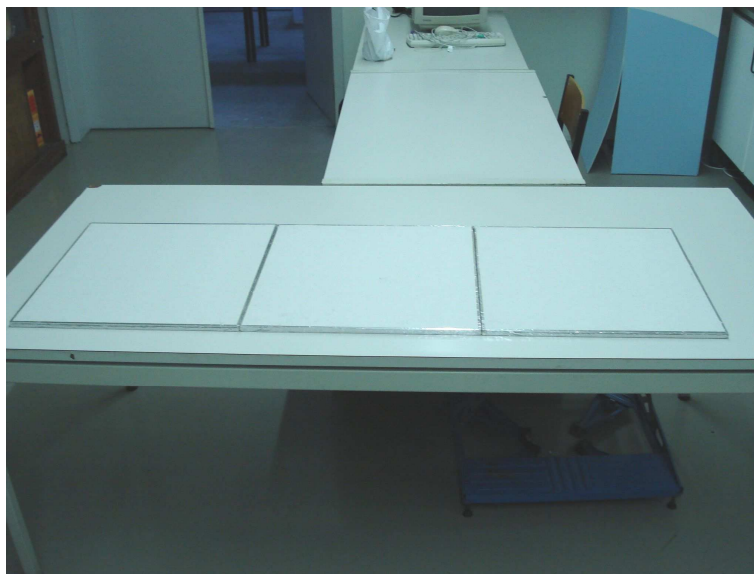


Figura 4.9 — Provetes utilizados nos ensaios.

A renovação do ar, realizada a partir do exterior, experimentou valores constantes de 1 h^{-1} , $0,50 \text{ h}^{-1}$ e $0,25 \text{ h}^{-1}$, relacionados com situações correntes em museus e que permitem comparar o efeito da inércia higroscópica com três tipos de ventilação diferentes.

O resultado dos ensaios permite a comparação da variação da humidade relativa do interior da câmara quando esta se encontra vazia e quando está revestida com os protótipos de gesso cartonado para os três níveis de ventilação distintos.

4.3.2 Resultados Obtidos

As variações de temperatura e humidade relativa apresentadas nesta secção foram continuamente registadas pelos dataloggers instalados. Ao longo do tempo foram-se alterando as configurações de ensaio, de acordo com a Tabela 4.2. Os registos foram efectuados de cinco em cinco minutos, pelo facto de se tratarem de variações do clima que podem acontecer com alguma rapidez.

Tabela 4.2 — Configurações ensaiadas.

Configuração	Período (2007)	Câmara Climática		Câmara de Fluxo	
		T (°C)	HR (%)	N (h^{-1})	Estado
Configuração 1	11.05 – 25.05	23	50	0,25	Vazia
Configuração 2	25.05 – 18.06	23	50	1,00	Vazia
Configuração 3	18.06 – 10.08	23	50	0,50	Vazia
Configuração 4	10.08 – 06.09	23	50	0,50	GC
Configuração 5	06.09 – 01.10	23	50	1,00	GC
Configuração 6	01.10 – 29.10	23	50	0,25	GC

Nas secções seguintes serão apresentados apenas os resultados relativos às Configurações 1 e 6 e às Configurações 2 e 5. A apresentação destes resultados é suficiente para avaliar a influência dos caudais de ventilação e da aplicação de revestimentos higroscópicos.

4.3.2.1 Configuração 1

Nas Figura 4.10 e Figura 4.11 apresentam-se os dois gráficos que correspondem à variação da temperatura e da humidade relativa ao longo do tempo registados no datalogger exterior e nos dataloggers interiores 1 e 2. Nesta fase a câmara de fluxo encontra-se vazia e apresenta um caudal de ventilação de 0,25 RPH.

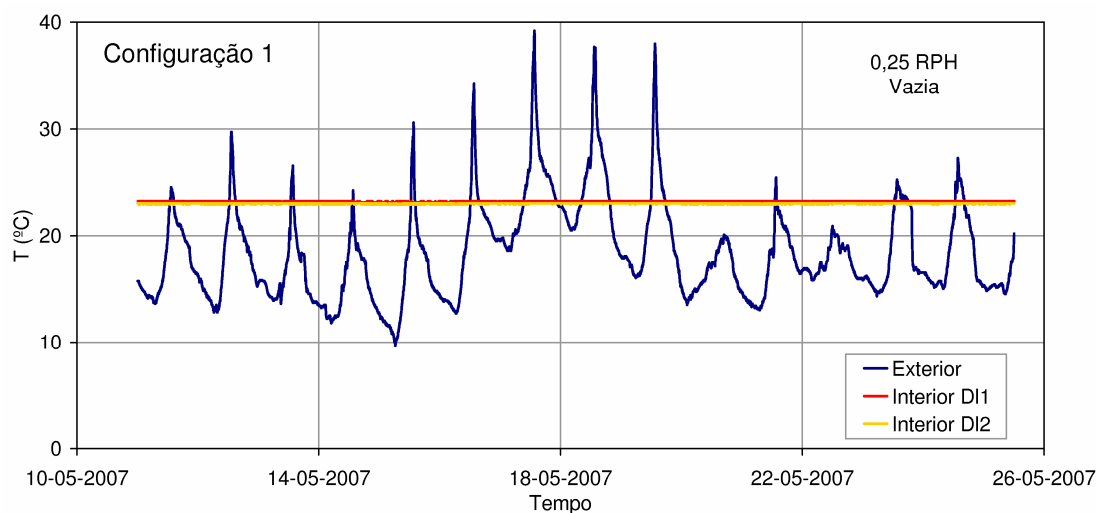


Figura 4.10 — Variação da temperatura ao longo do tempo na configuração 1.

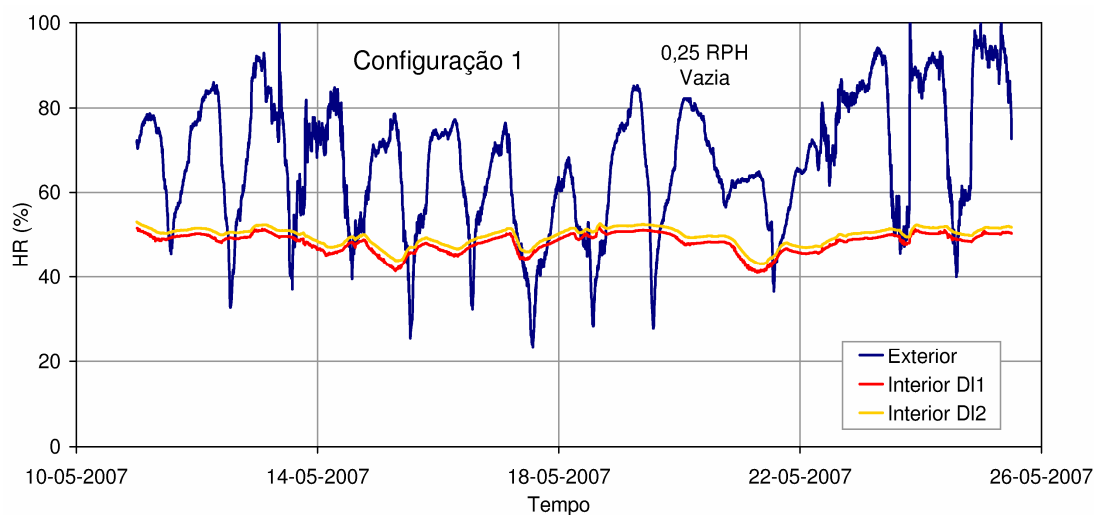


Figura 4.11 — Variação da humidade relativa ao longo do tempo na configuração 1.

Conhecidas as variações da temperatura e da humidade relativa e com auxílio da expressão (1) obtém-se a variação da pressão de vapor ao longo do tempo (Figura 4.12).

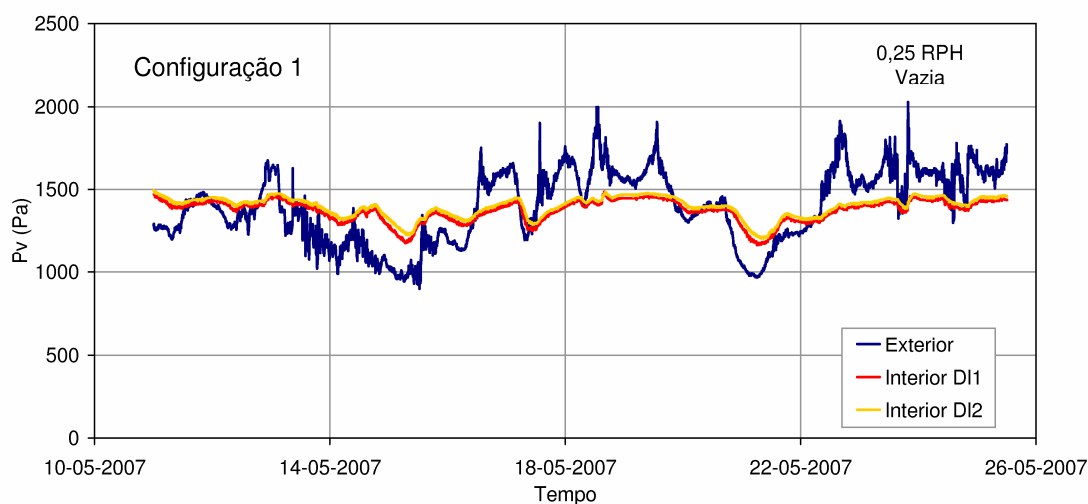


Figura 4.12 — Variação da pressão de vapor ao longo do tempo na configuração 1.

Para facilitar a leitura dos resultados, bem como a análise da inércia higroscópica sazonal optou-se por apresentar o gráfico que traduz as médias diárias da pressão de vapor e que se obtém com o cálculo da média das pressões de vapor de um dia.

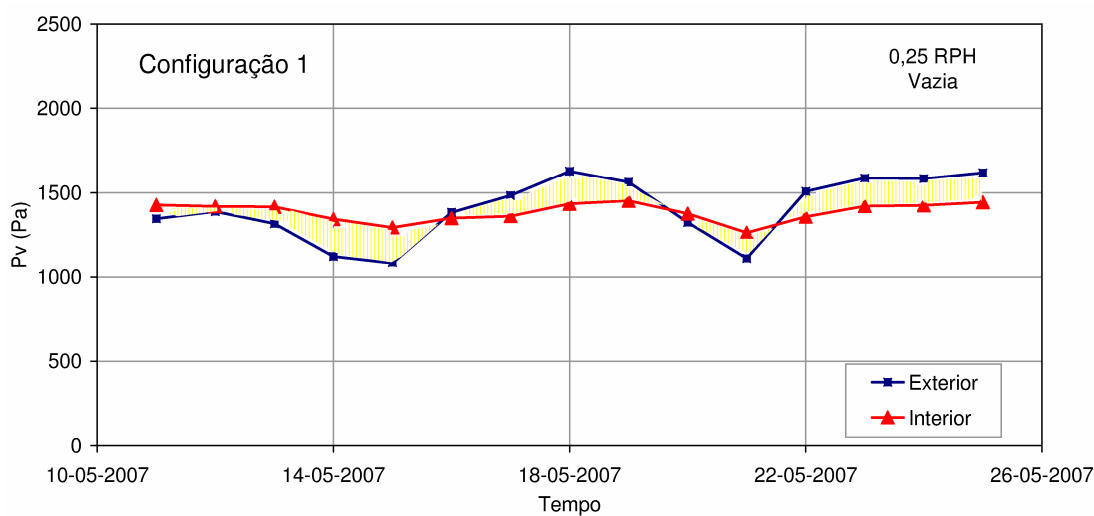


Figura 4.13 — Variação da pressão de vapor média diária na configuração 1.

Apesar do caudal de ventilação praticado nesta configuração ser reduzido, era expectável que as condições ambientais no interior da câmara de fluxo acompanhassem as condições ambientais exteriores. Tal não acontece pelo facto da envolvente da câmara de fluxo ser permeável, como se explicita na subsecção 4.3.3.

4.3.2.2 Configuração 2

Nesta configuração, a câmara de fluxo encontra-se vazia e tem um caudal de ventilação de 1,00 RPH. A Figura 4.14 e a Figura 4.15 apresentam os valores das variações da humidade relativa e da pressão de vapor ao longo do tempo.

Como pudemos observar na configuração anterior, a temperatura no interior da câmara de fluxo praticamente não varia, qualquer que seja a solicitação exterior. Assim, optou-se por não representar as variações da temperatura ao longo do tempo, nas restantes configurações.

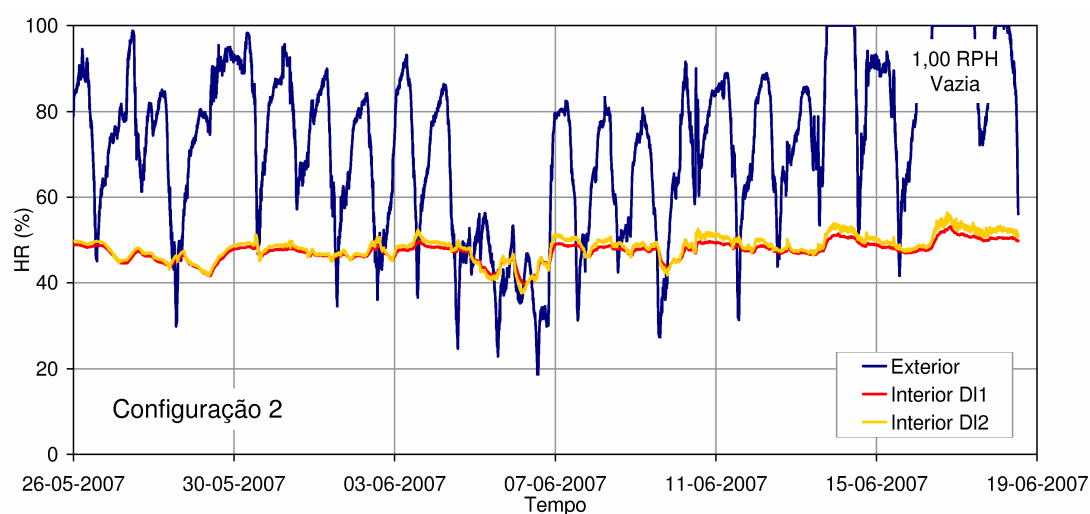


Figura 4.14 — Variação da humidade relativa ao longo do tempo na configuração 2.

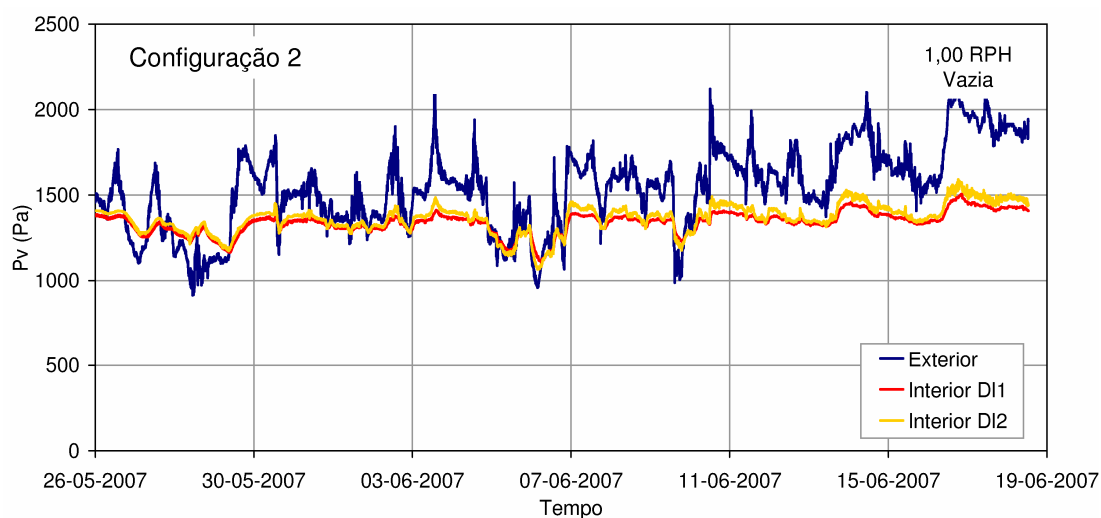


Figura 4.15 — Variação da pressão de vapor ao longo do tempo na configuração 2.

À semelhança do realizado para a configuração 1, apresenta-se na Figura 4.16 o gráfico das médias diárias das pressões de vapor exteriores e interiores para a configuração 2.

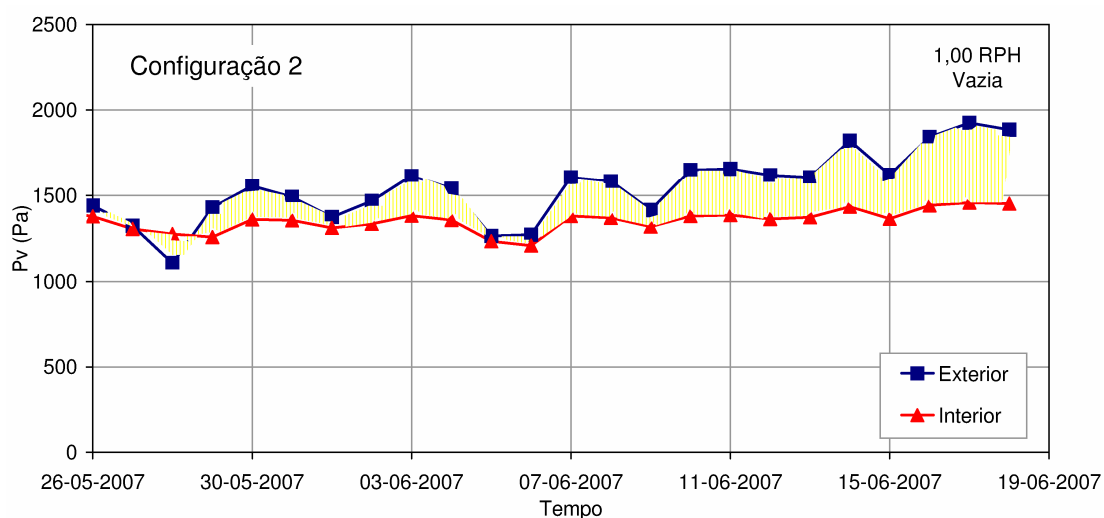


Figura 4.16 — Variação da pressão de vapor média diária na configuração 2.

Durante o período analisado, na configuração 2, a pressão de vapor exterior é quase sempre superior à pressão de vapor interior, e esta é muito constante. Assim como na configuração anterior esperava-se que as condições climáticas no interior e no exterior da câmara fossem coincidentes, o que não acontece. Mais uma vez, este resultado deve-se à influência que as condições higrotérmicas do interior da câmara climática exercem nas condições do interior da câmara de fluxo.

4.3.2.3 Configuração 5

Os valores da humidade relativa e da pressão de vapor registados no exterior e no interior são apresentados na Figura 4.17 e na Figura 4.18. Nesta configuração, os ensaios foram realizados com um caudal de ventilação de 1,00 RPH e com a câmara de fluxo revestida numa das faces a gesso cartonado.

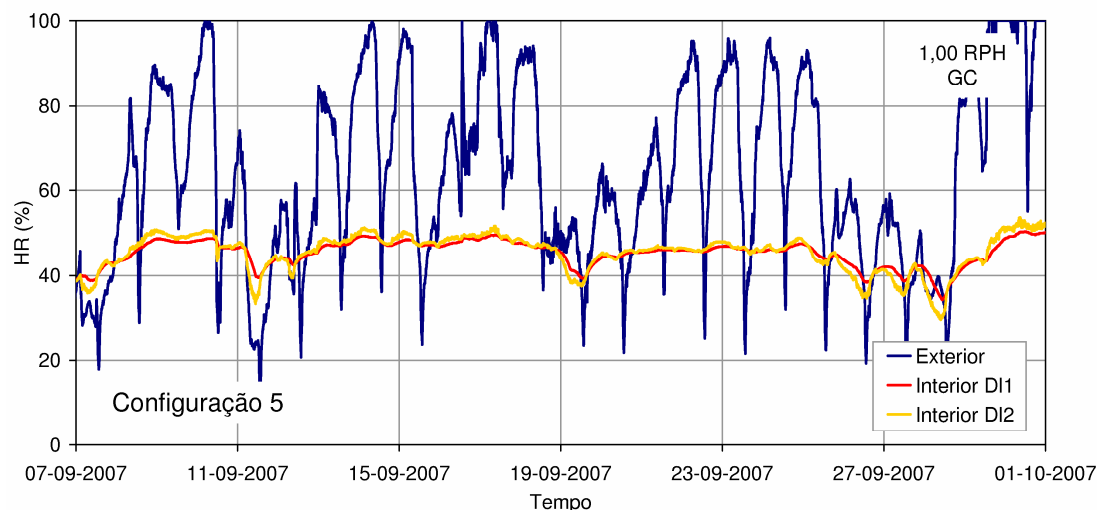


Figura 4.17 — Variação da humidade relativa ao longo do tempo na configuração 5.

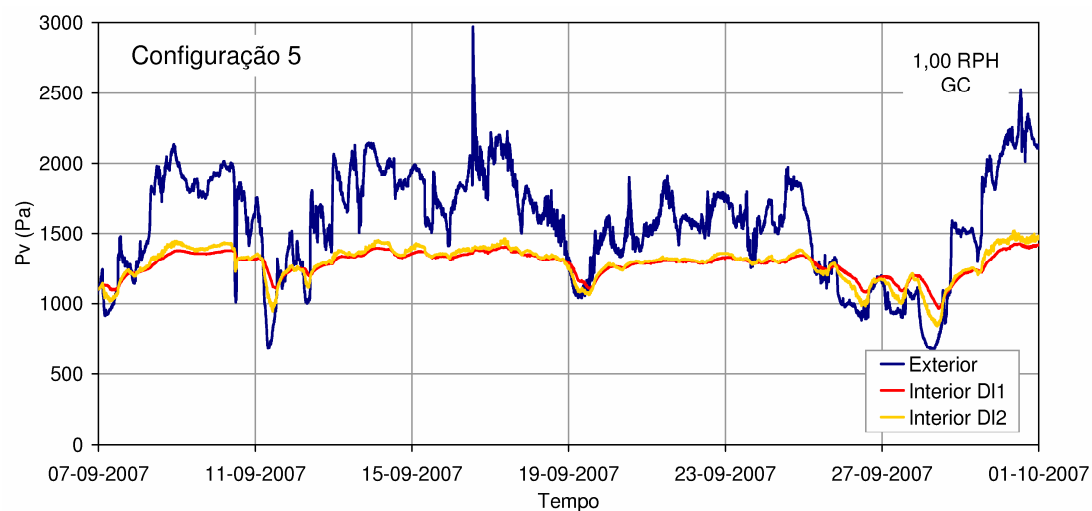


Figura 4.18 — Variação da pressão de vapor ao longo do tempo na configuração 5.

O gráfico apresentado na figura seguinte (Figura 4.19 — Variação da pressão de vapor média diária na configuração 5.) poderia ajudar-nos a visualizar o efeito de inércia higroscópica na câmara de fluxo, caso este existisse. No entanto, as condições higrotérmicas do interior da câmara climática afectam as condições higrotérmicas praticadas no interior da câmara de fluxo (ver subsecção 4.3.3).

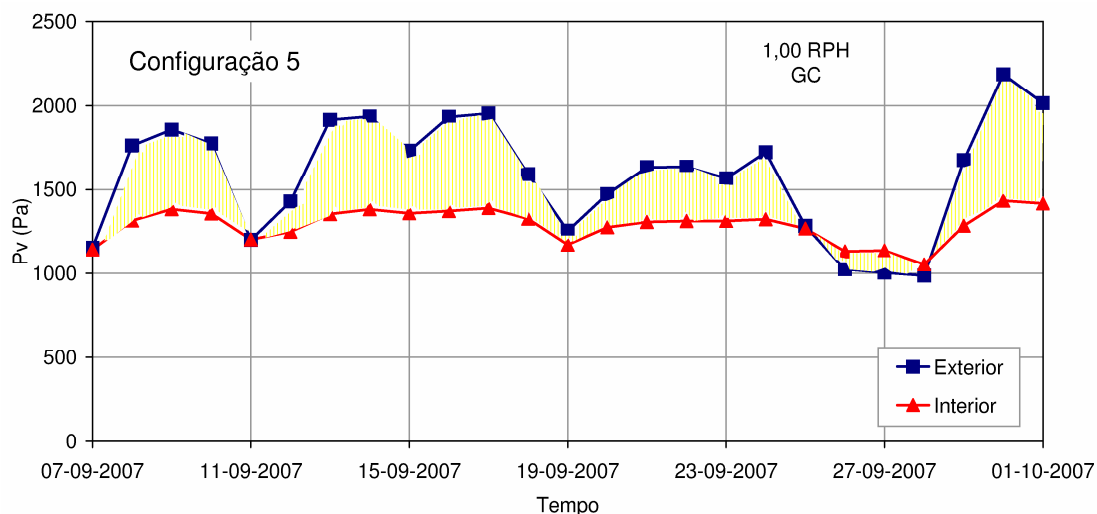


Figura 4.19 — Variação da pressão de vapor média diária na configuração 5.

4.3.2.4 Configuração 6

Os gráficos representados na Figura 4.20 e na Figura 4.21, dizem respeito às variações de humidade relativa e pressão de vapor registadas no exterior e no interior. As condições específicas desta configuração são: o caudal de ventilação de 0,25 RPH e a câmara de fluxo revestida numa das faces a gesso cartonado.

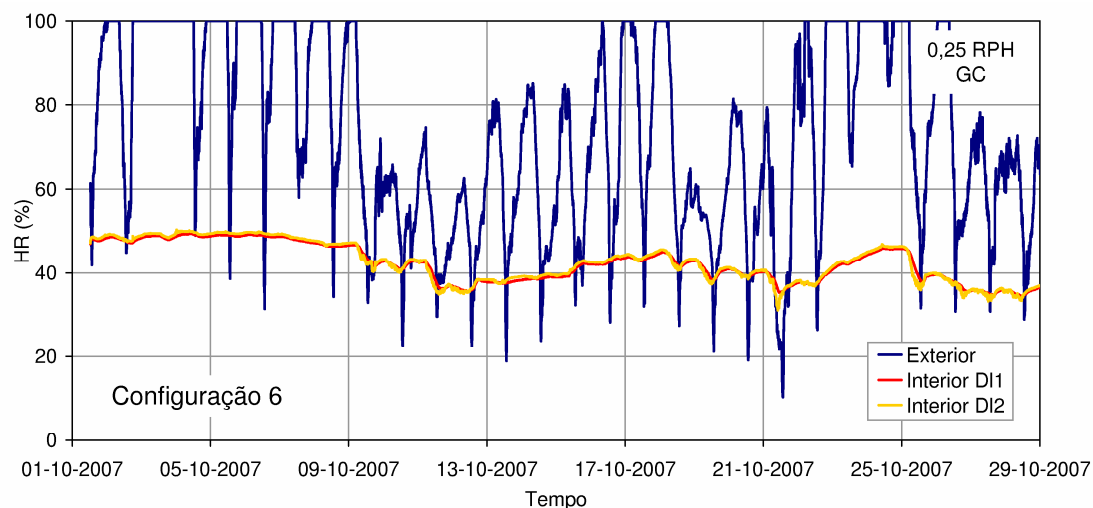


Figura 4.20 — Variação da humidade relativa ao longo do tempo na configuração 6.

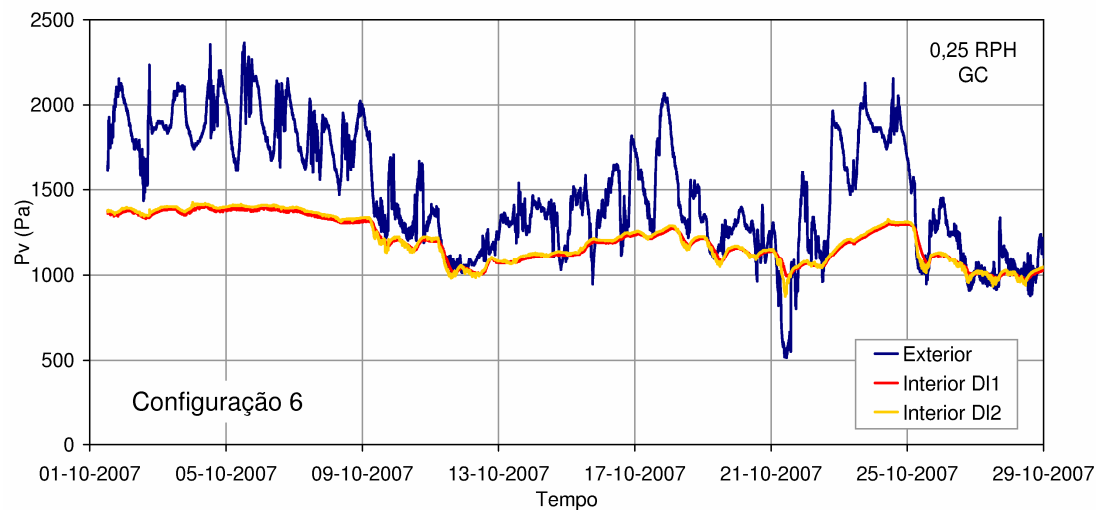


Figura 4.21 — Variação da pressão de vapor ao longo do tempo na configuração 6.

Os valores da pressão de vapor média diária registados na configuração 6 encontram-se representados no gráfico da Figura 4.22.

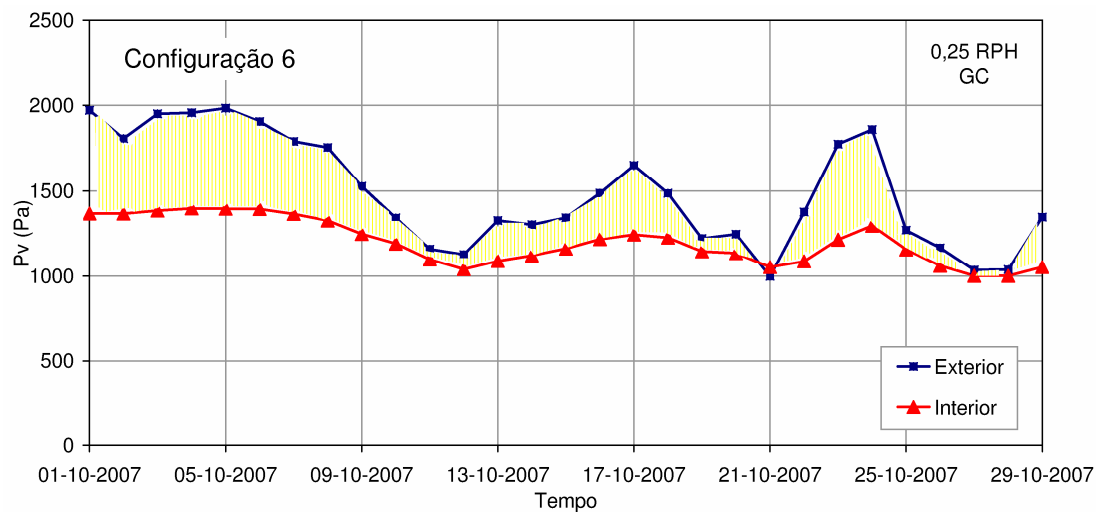


Figura 4.22 — Variação da pressão de vapor média diária na configuração 6.

Uma vez mais os resultados não são fiáveis, pelas razões já apontadas o que exigiu a realização de uma campanha de medidas complementares.

4.3.3 Análise Crítica dos Resultados Obtidos nos Ensaio Preliminares

A análise dos resultados obtidos nas diferentes configurações, no que diz respeito a temperaturas e humidades relativas, permite afirmar o seguinte:

- A temperatura registada no interior da câmara de fluxo apresenta-se, em todas as configurações ensaiadas, constante e igual a 23 °C, independentemente da variação da temperatura do ar exterior. Este efeito resulta da influência da temperatura da câmara climática (23 °C), sobre a temperatura interior da câmara de fluxo;
- Nos ensaios realizados, no âmbito desta dissertação, não foi considerada a produção de vapor no interior da câmara, logo a humidade relativa no interior da câmara de fluxo depende apenas da ventilação e da higroscopicidade do sistema;
- Analisando a Tabela 4.3, verifica-se que a humidade relativa exterior apresenta variações da ordem dos 80 % e uma média compreendida entre 60 e 73 %. No que diz respeito à humidade relativa interior, as configurações sem material higroscópico (Configurações 1 e 2) apresentam uma humidade relativa média de 48-49 % enquanto que as configurações com material higroscópico (Configurações 5 e 6) apresentam uma média que varia entre os 42 e os 46 %;

Tabela 4.3 — Mínimos, máximos e médias dos resultados obtidos.

	T _{Ext.} (°C)			T _{Int.} (°C)			HR _{Ext.} (%)			HR _{Int.} (%)		
	Mín.	Max.	Méd.	Mín.	Max.	Méd.	Mín.	Max.	Méd.	Mín.	Max.	Méd.
Configuração 1	10	39	18	23	23	23	24	100	67	41	53	49
Configuração 2	12	43	19	23	23	23	19	100	72	38	56	48
Configuração 3	13	48	21	22	24	23	15	100	68	35	56	48
Configuração 4	14	43	23	23	24	23	18	100	60	27	57	46
Configuração 5	13	45	21	23	24	23	13	100	64	30	54	45
Configuração 6	10	38	18	23	24	23	10	100	73	31	50	42

A comparação das diferentes configurações com base nos valores representados na tabela anterior, não é a mais adequada quando se pretende avaliar o efeito da inércia higroscópica, será preferível avaliar a variação da pressão de vapor.

Com base na análise dos gráficos das pressões de vapor e das pressões de vapor médias diárias, obtidos nas diferentes configurações podemos concluir o seguinte:

- As solicitações exteriores são diferentes de configuração para configuração, dificultando assim a análise comparativa;
- Em quase todas as configurações ensaiadas, a pressão de vapor interior é bastante inferior à pressão de vapor exterior;
- Não há produção de vapor no interior da câmara de fluxo, pelo que, nas configurações em que a câmara de fluxo foi ensaiada vazia (Configurações 1 e 2) era expectável que as pressões fossem praticamente coincidentes – Figura 4.23;

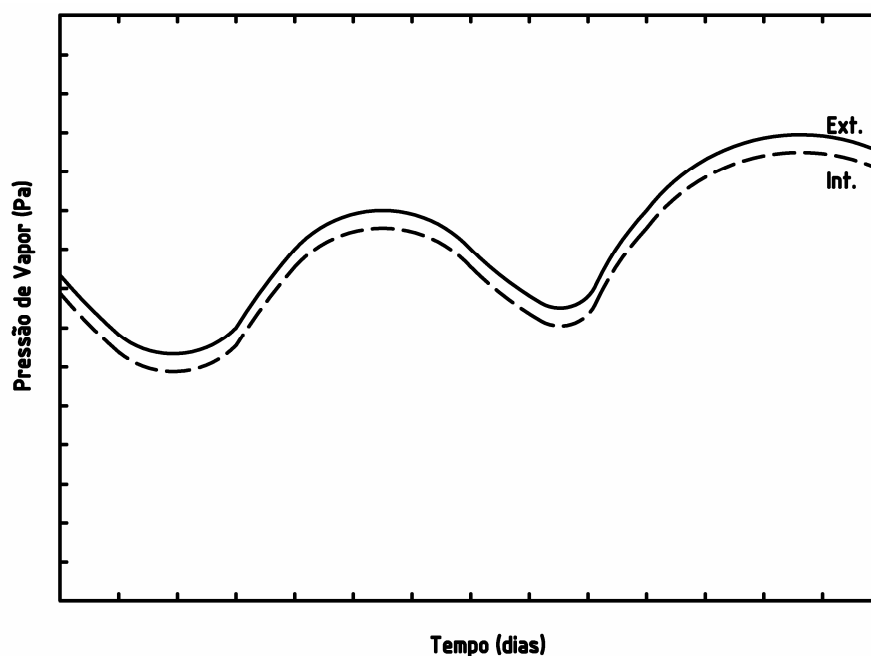


Figura 4.23 — Variação da pressão de vapor exterior e interior quando não há produção de vapor nem materiais higroscópicos.

- Nas configurações 5 e 6, quando introduzimos materiais higroscópicos na câmara de fluxo, o expectável era que ocorresse uma aproximação das curvas quando a pressão de vapor exterior aumenta e um afastamento quando a pressão de vapor interior diminui – Figura 4.24;

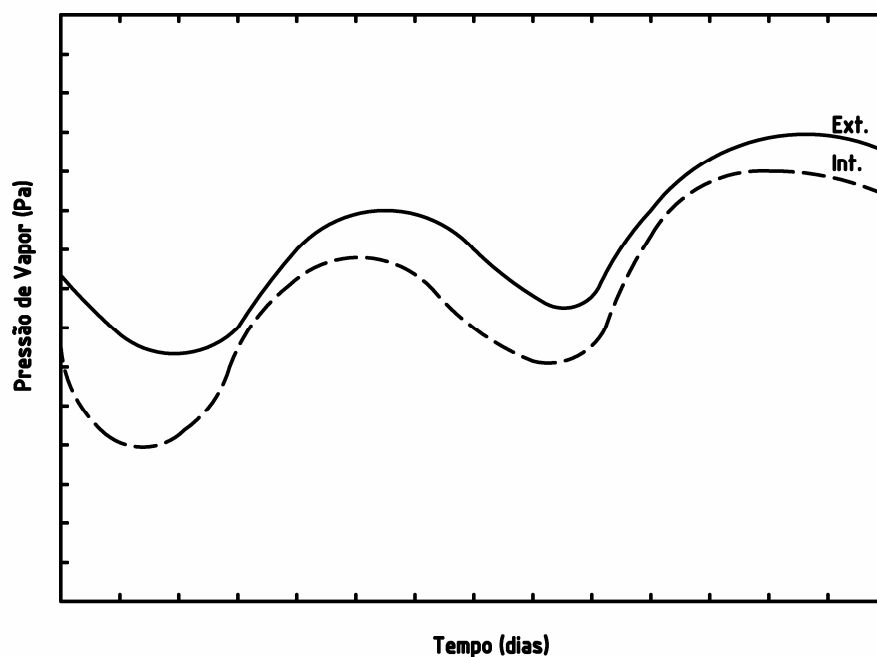


Figura 4.24 — Variação da pressão de vapor exterior e interior quando temos materiais higroscópicos e não há produção de vapor [20].

- As pressões de vapor interiores apresentam um comportamento similar, variando sempre em torno de um determinado valor. Na Figura 4.25, Figura 4.26 e Figura 4.27 apresentamos os valores da pressão de vapor no exterior, no interior e na câmara climática. A interpretação destes gráficos, permite concluir que as condições higrotérmicas da câmara climática influenciaram os resultados obtidos no interior da câmara de fluxo;
- Os resultados obtidos no interior da câmara de fluxo foram modificados pelas condições higrotérmicas da câmara climática. As pressões de vapor no interior da câmara de fluxo encontram-se muito próximas da pressão de vapor do ar interior da câmara climática, pelo que se constata que a câmara de fluxo não se encontra completamente estanque e que assim permite que o ar da câmara climática entre na câmara de fluxo e que se sobreponha à entrada do ar exterior;

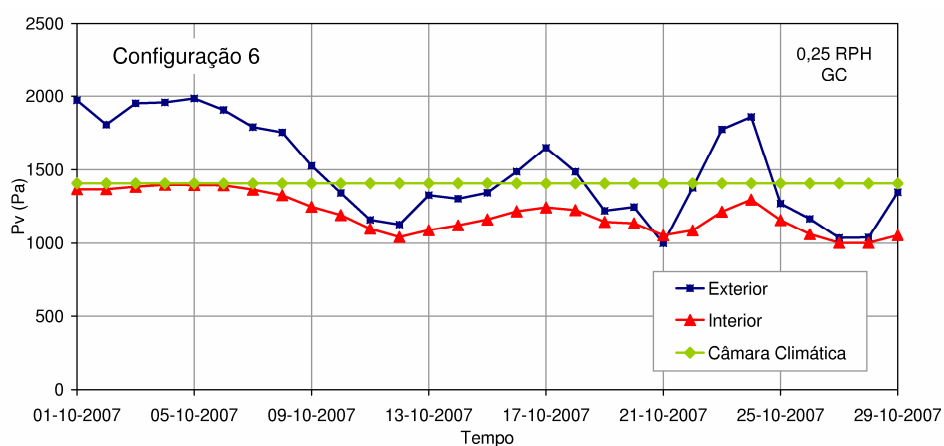
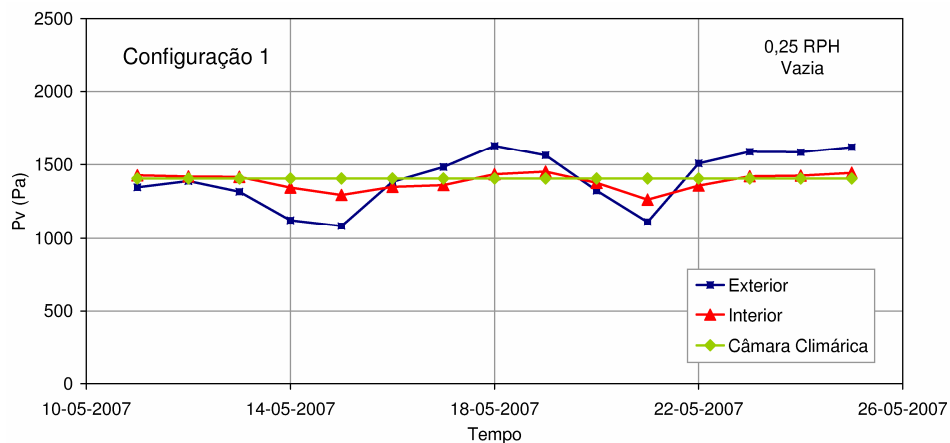
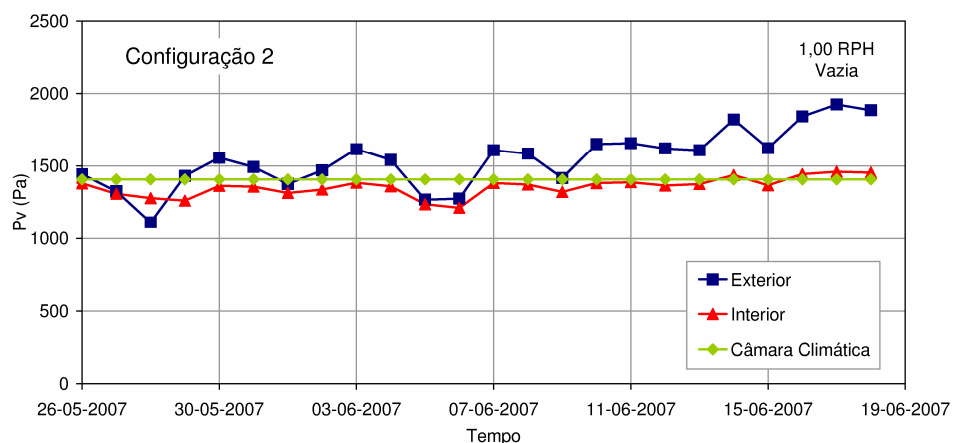


Figura 4.25 — Variação da pressão de vapor média diária nas configurações 1 e 6.



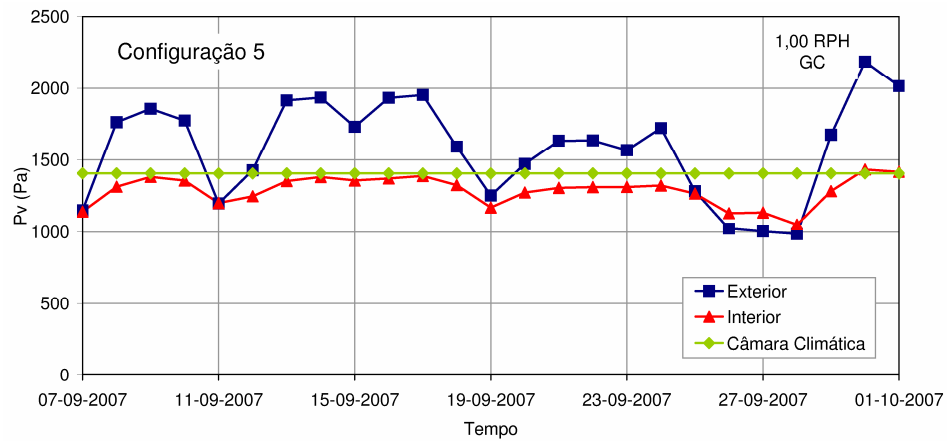


Figura 4.26 — Variação da pressão de vapor média diária nas configurações 2 e 5.

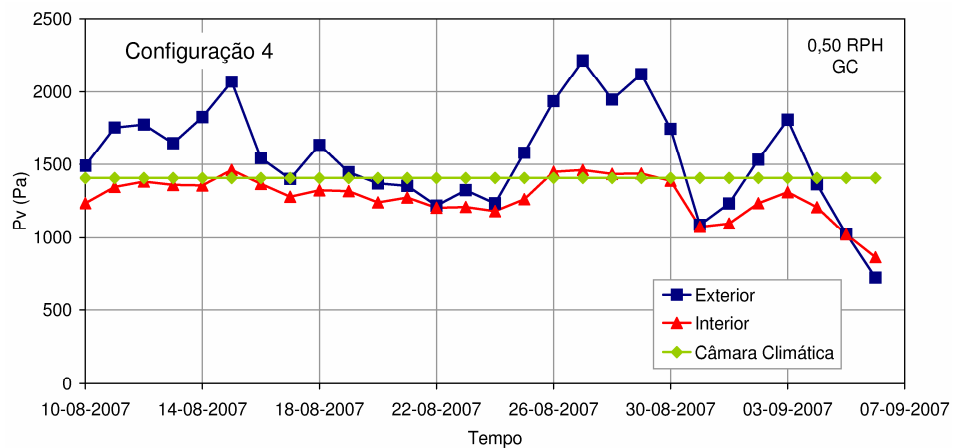
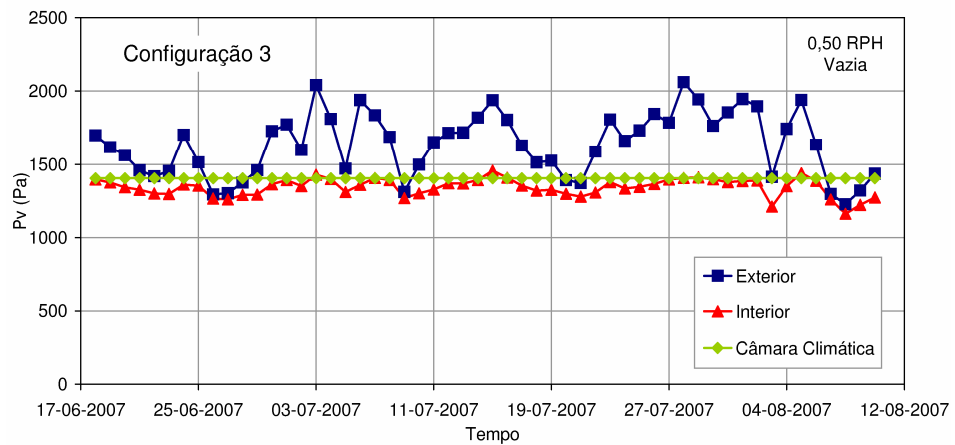


Figura 4.27 — Variação da pressão de vapor média diária nas configurações 3 e 4.

— Nestas circunstâncias justifica-se efectuar um conjunto de ensaios complementares corrigindo a permeabilidade da câmara de fluxo.

4.4 Ensaios Complementares

4.4.1 Configuração dos Ensaios

A análise dos gráficos obtidos nos ensaios preliminares, efectuada na secção anterior, conduziu à necessidade de realizar um conjunto de ensaios complementares, que se encontram descritos na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 — Configurações dos ensaios complementares.

Configuração	Período (2007)	Câmara Climática		Câmara de Fluxo	
		T (°C)	HR (%)	N (h ⁻¹)	Estado
Configuração 7	26.11 – 04.12	23	50	0,50	GC
Configuração 8	04.12 – 12.12	23	50	0,50	Vazia

Face ao exposto na secção anterior, realizaram-se algumas alterações na infra-estrutura do ensaio. Essas alterações basearam-se na colocação de mais um datalogger no interior da câmara de fluxo, posicionado à saída da mangueira de admissão do ar proveniente do exterior, como indica a Figura 4.28 e na selagem das folgas encontradas na câmara de fluxo, com fita de alumínio (Figura 4.29).

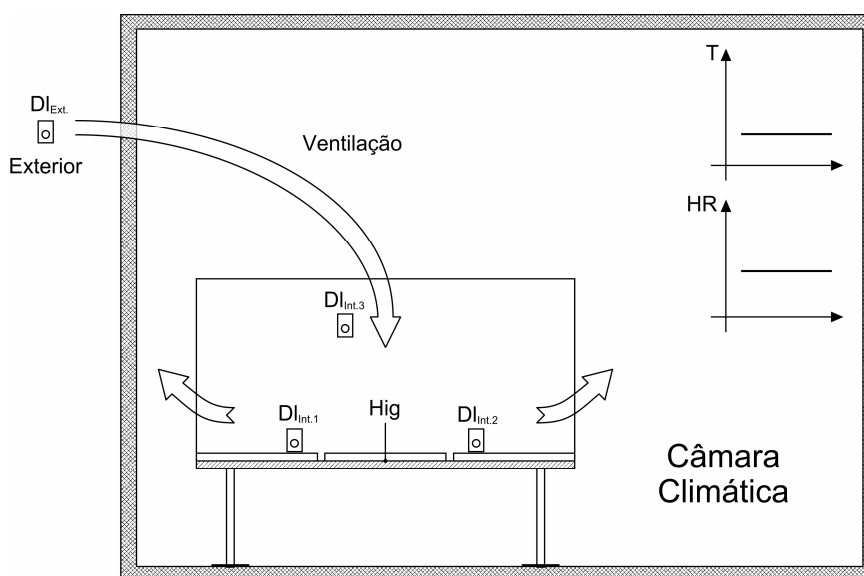


Figura 4.28 — Representação esquemática da infra-estrutura dos ensaios complementares.



Figura 4.29 — Câmara de fluxo selada com fita de alumínio.

4.4.2 Resultados Obtidos

4.4.2.1 Configuração 7

Com a câmara de fluxo devidamente selada, obtiveram-se os valores da temperatura, da humidade relativa e da pressão de vapor representados na Figura 4.30, na Figura 4.31 e na Figura 4.32. O caudal de ventilação da câmara de fluxo foi de 0,50 RPH e ainda se encontravam os provetes de gesso cartonado dentro da câmara.

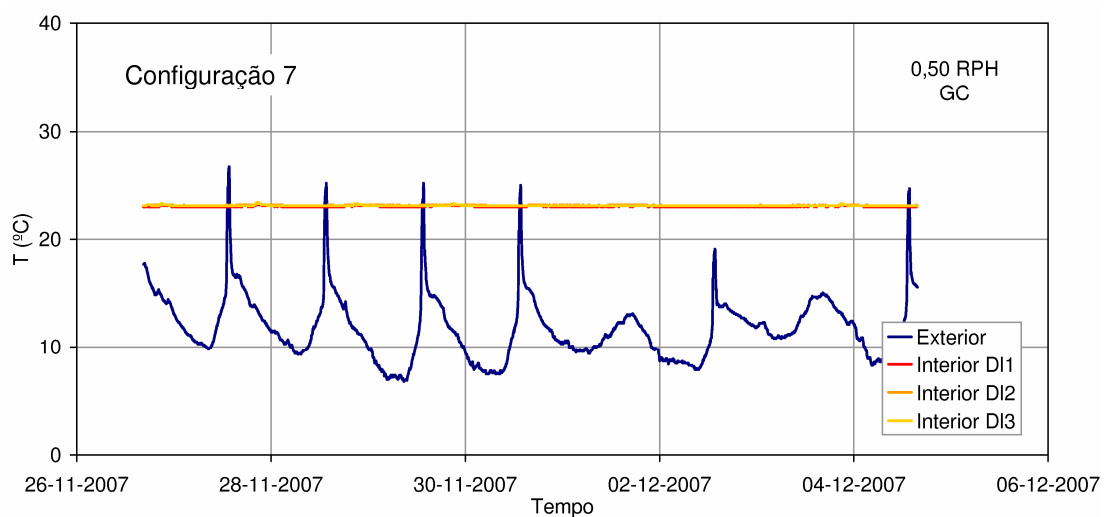


Figura 4.30 — Variação da temperatura ao longo do tempo na configuração 7.

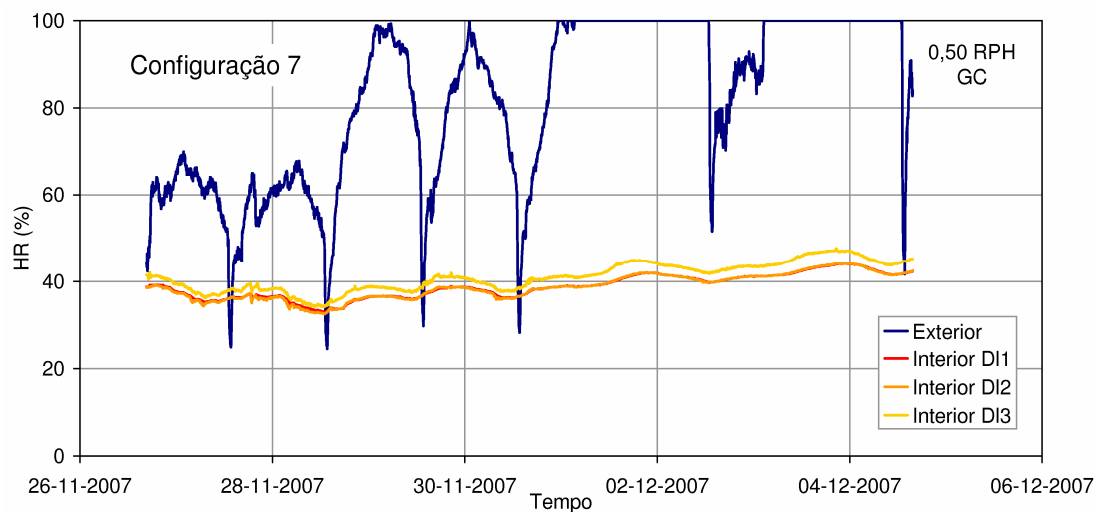


Figura 4.31 — Variação da humidade relativa ao longo do tempo na configuração 7.

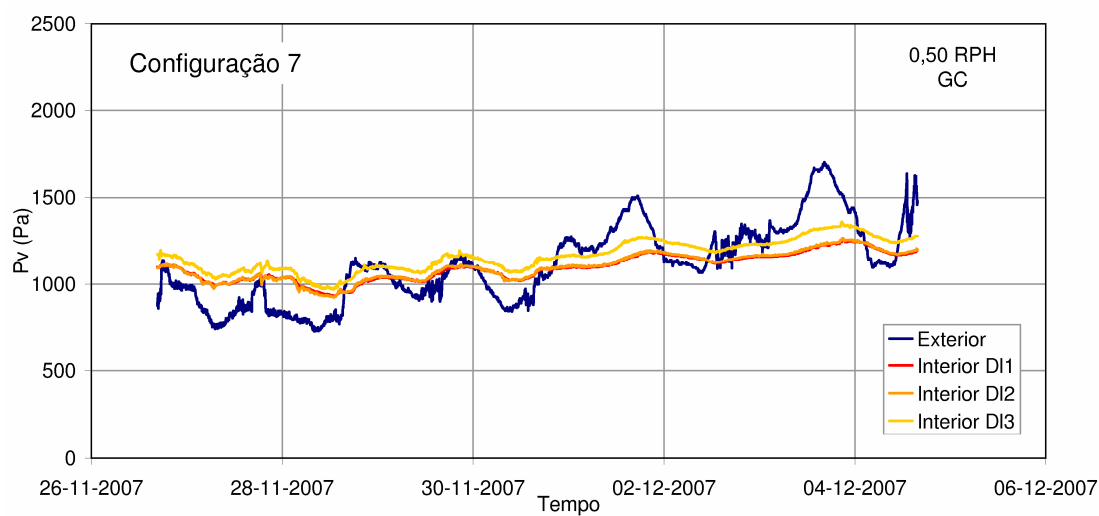


Figura 4.32 — Variação da pressão de vapor ao longo do tempo na configuração 7.

A variação das pressões de vapor médias diárias interiores e exteriores está representada na Figura 4.33.

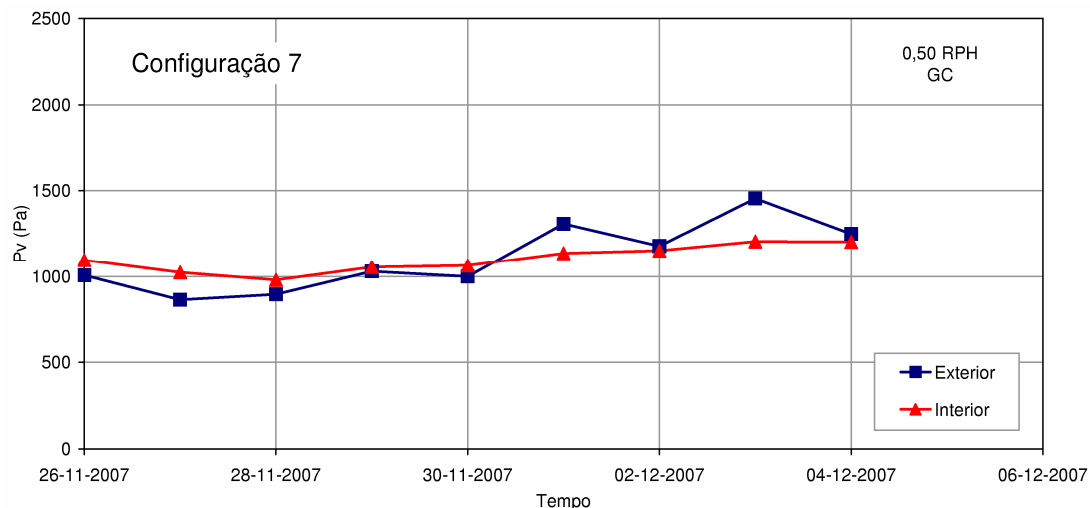


Figura 4.33 — Variação da pressão de vapor média diária na configuração 7.

Na configuração 7, com um caudal de ventilação de 0,5 RPH e na presença de gesso cartonado (material higroscópico) podemos afirmar que os resultados obtidos foram os esperados, isto é, observa-se um amortecimento dos picos da pressão de vapor.

4.4.2.2 Configuração 8

Depois de se retirarem as placas de gesso cartonado da câmara de fluxo foram obtidos os resultados apresentados nas Figura 4.34, Figura 4.35 e Figura 4.36. O caudal de ventilação adoptado foi o mesmo da configuração anterior, 0,50 RPH.

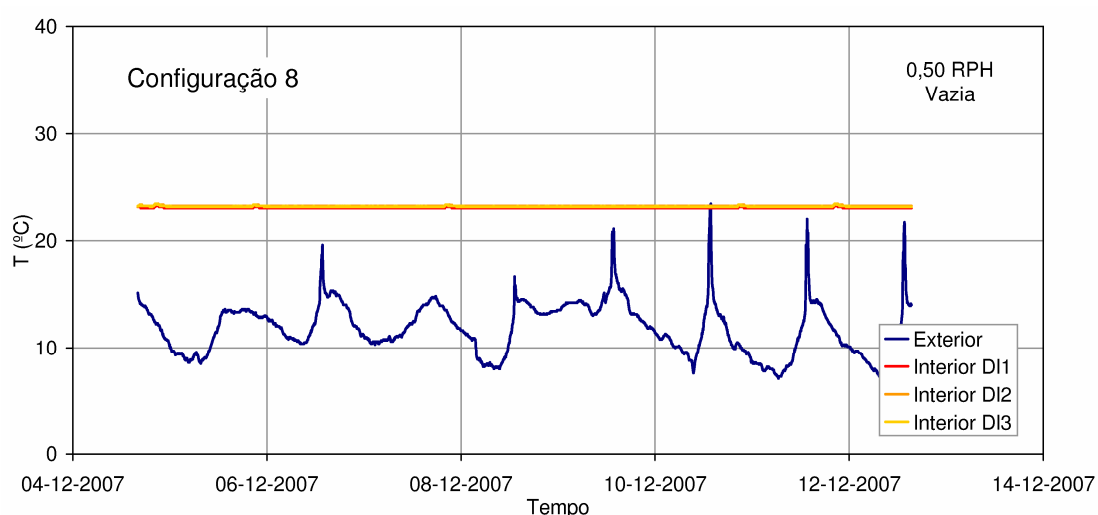


Figura 4.34 — Variação da temperatura ao longo do tempo na configuração 8.

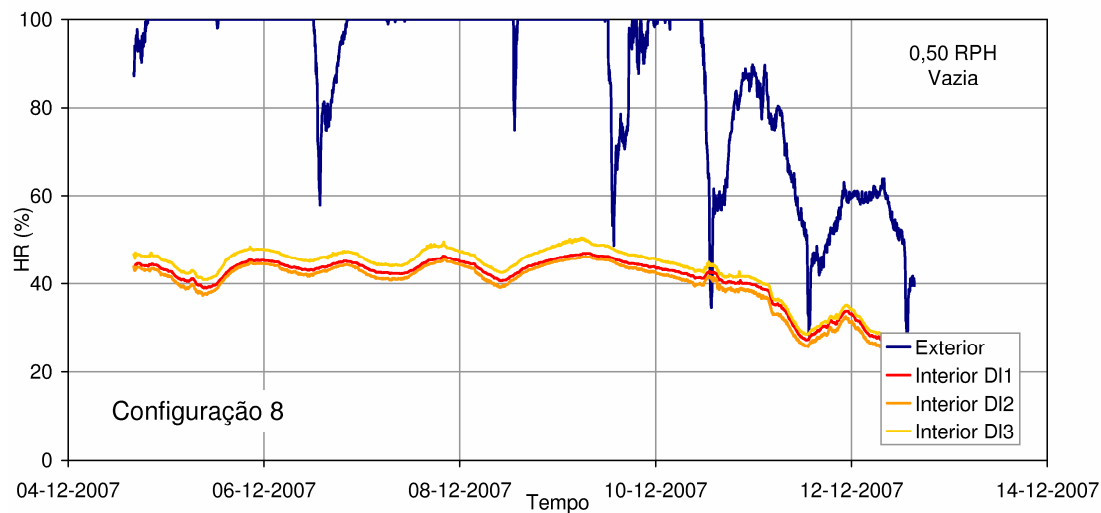


Figura 4.35 — Variação da humidade relativa ao longo do tempo na configuração 8.

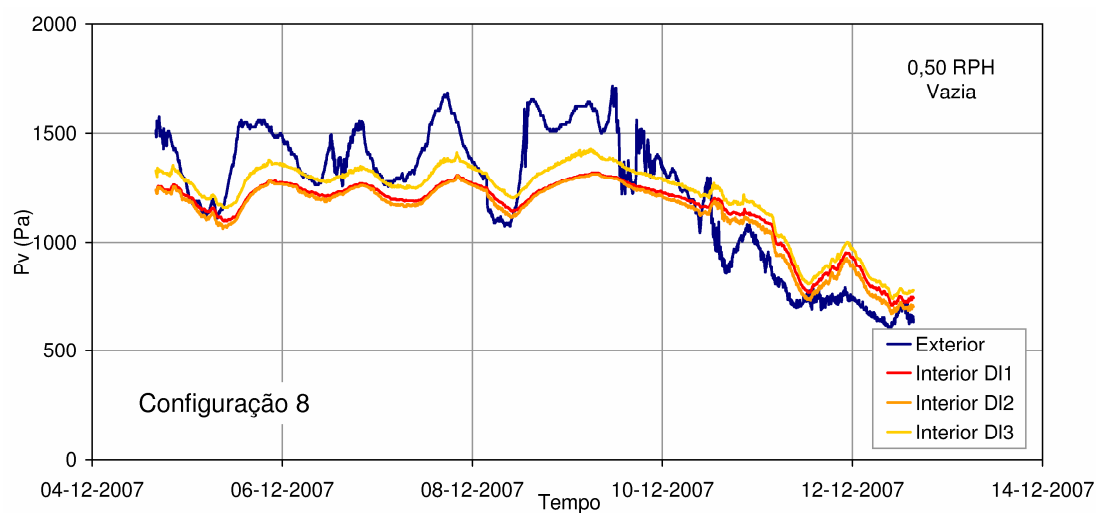


Figura 4.36 — Variação da pressão de vapor ao longo do tempo na configuração 8.

De acordo com o que tem sido efectuado ao longo do presente trabalho, apresenta-se na Figura 4.37 o gráfico das pressões de vapor médias diárias que nos permite efectuar uma análise mais cuidada.

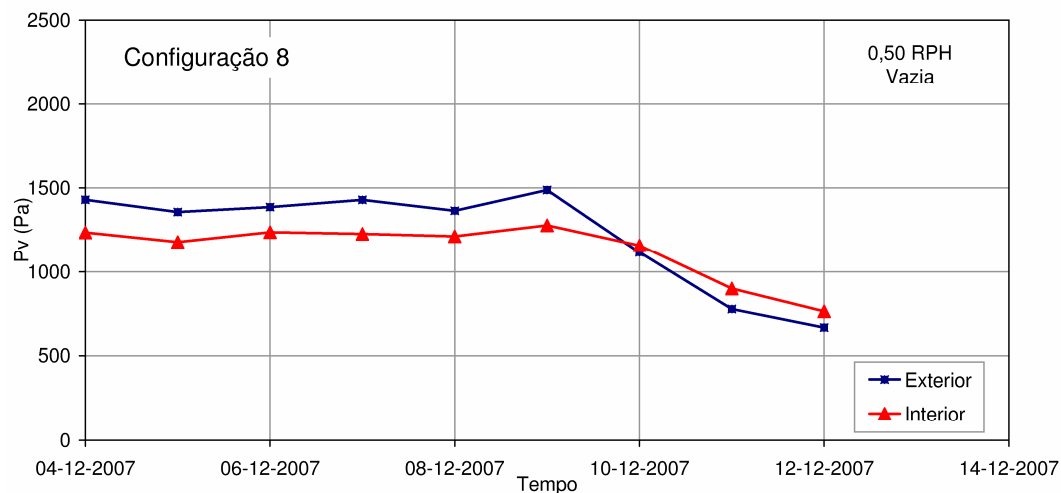


Figura 4.37 — Variação da pressão de vapor média diária na configuração 8.

4.4.3 Análise Crítica dos Resultados Obtidos nos Ensaios Complementares

A análise dos resultados referentes às configurações 7 e 8 permite afirmar o seguinte:

- À semelhança do verificado nas configurações anteriores, de 1 a 6, a temperatura no interior da câmara de fluxo nas configurações 7 e 8 também permanece constante;
- Ao contrário do que sucedeu nos primeiros ensaios, em que a variação da humidade relativa ocorre em torno de uma recta horizontal que passa na humidade relativa de 40-50 %, nos ensaios complementares a humidade relativa não varia linearmente mas de acordo com a variação da humidade relativa exterior (Figura 4.38);

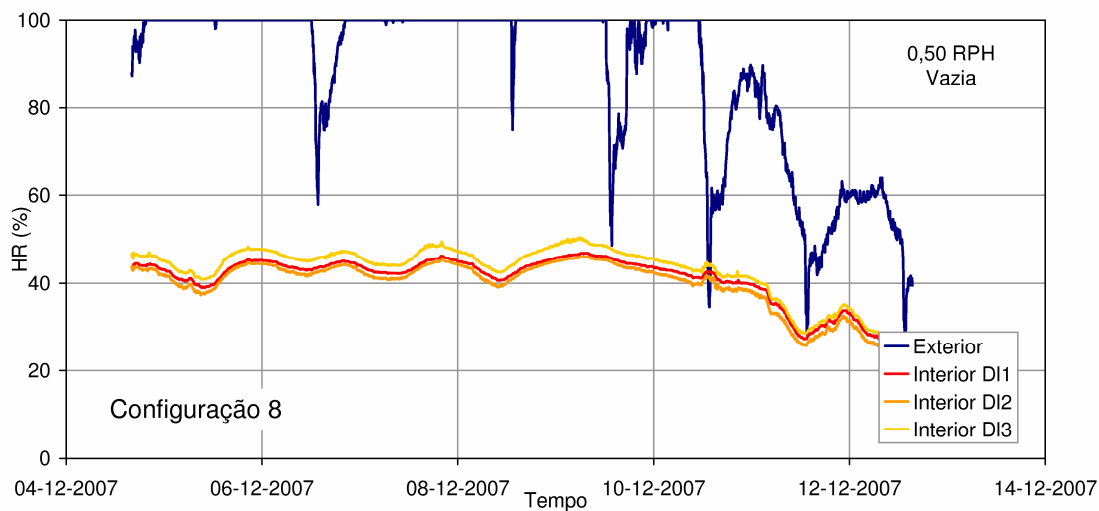
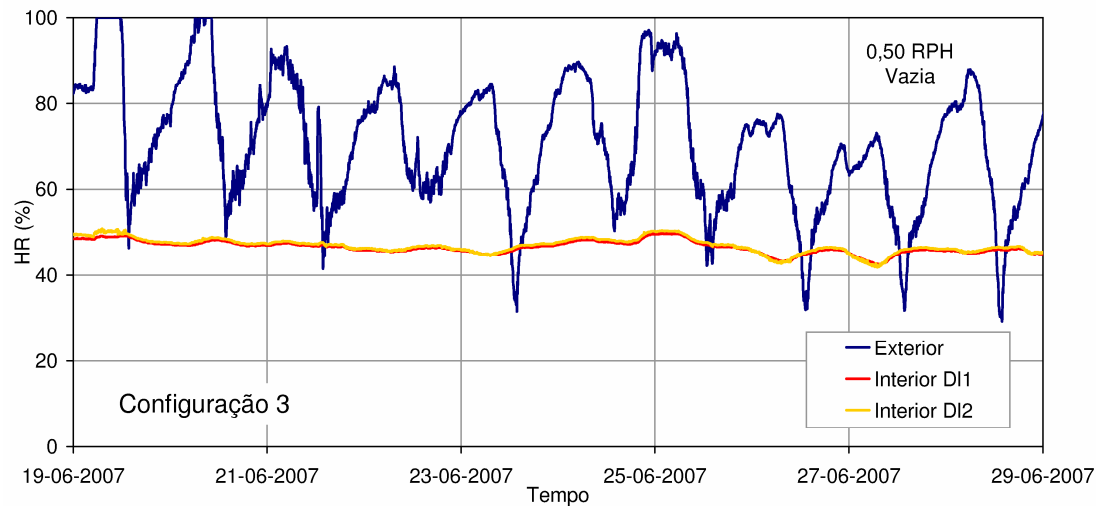


Figura 4.38 — Variação da humidade relativa na configuração 3 e 8.

- Na Figura 4.39 pode-se verificar a proximidade entre as pressões de vapor interiores e as pressões de vapor exteriores. Na configuração 8 a variação da pressão interior acompanha mais de perto a variação da pressão de vapor exterior, o que seria de esperar uma vez que a câmara de fluxo se encontra vazia, isto é, sem inércia higroscópica;

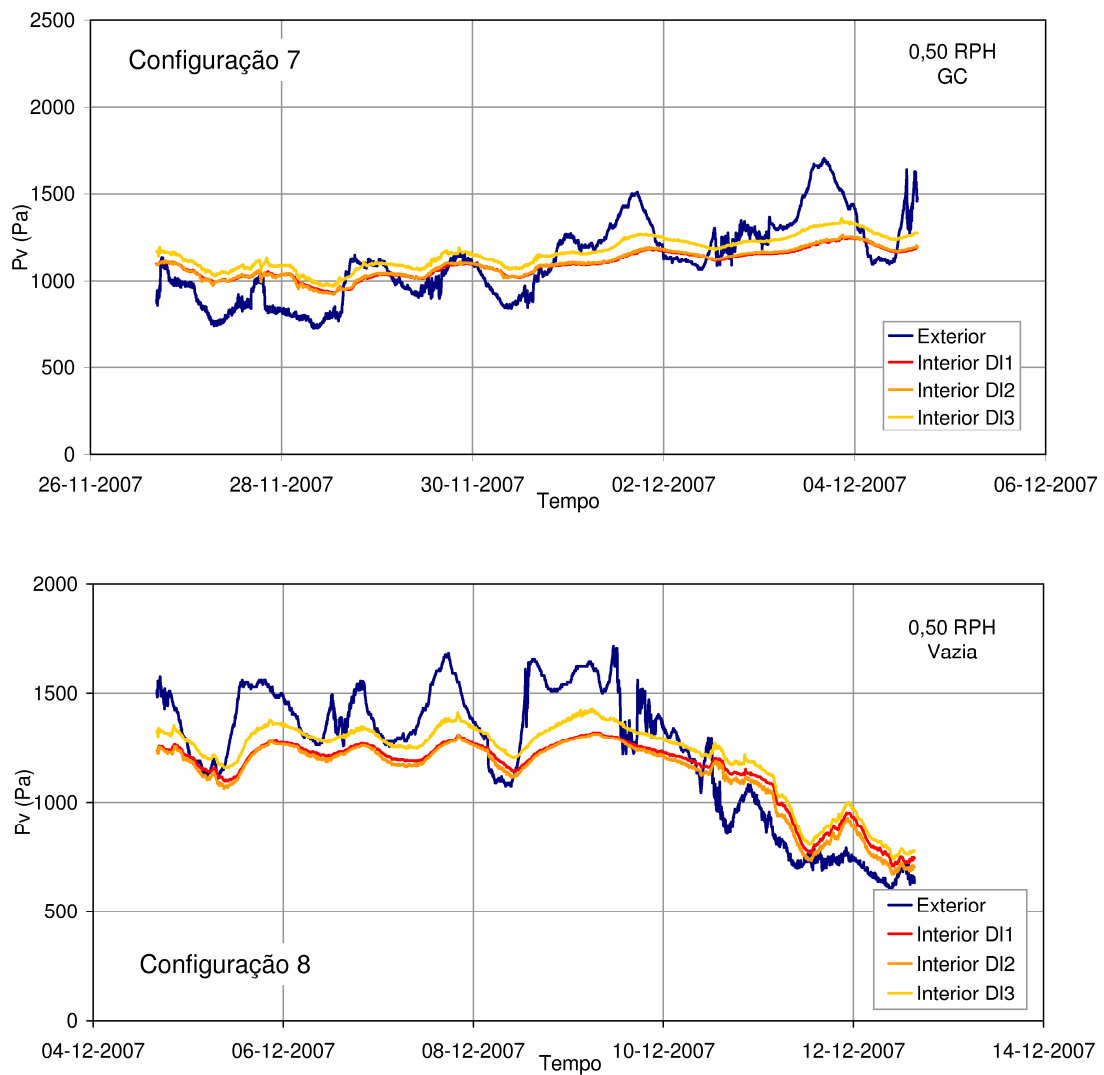


Figura 4.39 — Variação da pressão de vapor – Configurações 7 e 8.

- Na configuração 8, quando a câmara de fluxo se encontra vazia, as pressões de vapor interiores apresentam um certo paralelismo em relação às pressões de vapor exteriores. Apresenta também um ligeiro afastamento, que está relacionado com a inércia higroscópica residual (inerente ao sistema);
- Na configuração 7, quando se introduz o gesso cartonado (material higroscópico), a pressão de vapor interior praticamente não varia. Como esperado é visível um certo afastamento das curvas quando a pressão exterior diminui e uma aproximação das curvas, quando a pressão exterior aumenta;

- Considera-se que a infra-estrutura de ensaio adoptada necessita de ser caracterizada do ponto de vista da sua própria inércia higroscópica.

4.5 Síntese do Capítulo 4

O Capítulo 4 descreve e sintetiza os ensaios realizados no âmbito desta dissertação, apresenta também os resultados obtidos e faz uma análise crítica dos mesmos. Os ensaios realizados tiveram como objectivo a avaliação da importância da inércia higroscópica.

Os resultados obtidos nas diferentes configurações ensaiadas demonstraram que a inércia higroscópica amortece as variações da humidade relativa no interior de um compartimento. Os ensaios na câmara de fluxo permitiram medir e comprovar experimentalmente esse amortecimento.

A comparação das diferentes configurações do ensaio, nomeadamente, os ensaios realizados com a câmara de fluxo vazia e os ensaios realizados com a câmara de fluxo revestida numa das faces com provetes de gesso cartonado, quando o caudal de ventilação é o mesmo, permitiu validar a influência da inércia higroscópica na variação da humidade relativa.

Com a análise efectuada concluiu-se também que é extremamente importante ter cuidado com as condições em que os ensaios são realizados, pois uma má concepção dos ensaios pode conduzir a erros graves.

Capítulo 5

Critérios de Projecto

5.1 Introdução

Os materiais orgânicos que constituem os acervos dos museus adaptam-se a quaisquer condições climáticas, contudo, estas têm de ser estáveis, não apresentando variações muito rápidas. Assim sendo, o museu deve ser concebido de forma a evitar grandes flutuações climáticas no seu interior.

A escolha do sistema de controlo das condições higrotérmicas em museus deve ser realizada de acordo com as características físico-funcionais do museu em causa. Um museu pequeno com um baixo orçamento mensal pode não ter condições para suportar os custos associados à instalação de um bom sistema de ar condicionado em funcionamento contínuo, às contas de energia e à respectiva manutenção [7].

O estudo efectuado ao longo deste trabalho perspectiva a possibilidade de controlo das condições higrotérmicas interiores sem o recurso a qualquer tipo de sistemas de climatização em museus instalados em edifícios antigos. O projectista, na elaboração do projecto de reabilitação, deve ter em consideração o comportamento higroscópico do edifício no Inverno e no Verão, bem como o respeito pelas condições mínimas de conforto.

Cada edifício apresenta um determinado desempenho, que tem que ser medido e corrigido de forma a apresentar um desempenho adequado às exigências actuais. A reabilitação tem que ser adaptativa, isto é, tem que satisfazer os princípios atrás enunciados.

Este capítulo tem como objectivo enumerar alguns critérios a seguir na concepção de edifícios destinados a museus instalados em edifícios antigos, nos quais se pretenda utilizar o efeito da inércia higroscópica e da inércia térmica no controlo das condições higrotérmicas interiores. Os critérios de projecto podem ser considerados ao nível da arquitectura, das instalações e equipamentos ou dos materiais e revestimentos.

5.2 Arquitectura

Já antes da 2ª Guerra Mundial, a forma de construir era determinante no que se refere ao desempenho ambiental do edifício. O próprio edifício deveria assegurar a descarga segura da água da chuva, a iluminação natural através de janelas e de grandes clarabóias e o aquecimento era realizado com recurso a lareiras. Os edifícios públicos eram construídos em alvenaria maciça, de forma a conservar o calor durante o Inverno e a reduzir os ganhos térmicos durante o Verão [4].

Não diferindo muito do passado, os critérios a ter em consideração na elaboração de projectos de reabilitação de museus no século XXI são:

- Dimensionar correctamente o caudal de ventilação das salas dos museus, de modo a garantir a circulação e qualidade do ar;
- Projectar salas que tornem favorável a circulação e a renovação do ar;
- As ligações directas entre o exterior e o interior do museu, bem como a permanência de portas exteriores abertas durante o funcionamento do museu são critérios a evitar pois facilitam a transferência de calor, de humidade, de poluição e de gases do exterior;
- Dotar o edifício de paredes e coberturas que contribuam para aumentar a inércia térmica do edifício e ao mesmo tempo reduzir as flutuações da temperatura e da humidade relativa interior;
- Isolar fortemente as coberturas pelo exterior;
- Reduzir a área de envidraçados. Grandes áreas de envidraçados implicam grandes quantidades de luz solar que por sua vez fazem aumentar a flutuação da temperatura e da humidade relativa do ambiente interior;

- Adoptar materiais higroscópicos de forma a aumentar a capacidade de armazenamento da humidade relativa;
- Controlar as fontes de produção de vapor [23], [24], [25], [26] e [27].

Seria uma estratégia adequada apostar na utilização de materiais de revestimento interiores higroscópicos e na adopção de arquitecturas inteligentes em detrimento dos sistemas de climatização, no que diz respeito ao controle expedito do clima interior.

A envolvente desempenha um papel importante no processo de controlo das condições climáticas interiores. As alvenarias tradicionais portuguesas são sistemas muito eficientes de amortecimento da humidade relativa, quer pelo tipo de materiais que as constituem quer pela sua espessura característica [28].

Na maior parte das salas de exposição, dos museus portugueses, o controlo das condições climáticas é realizado de forma intermitente, através de instalações e equipamentos mecânicos, nomeadamente aquecedores, desumidificadores, sistemas de ar condicionado, etc. A utilização destes equipamentos de uma forma desordenada favorece o descontrolo total das condições higrotérmicas interiores, bem como, potencia a deterioração dos objectos museológicos.

No caso de se optar pela sua utilização devem-se ter em consideração os seguintes aspectos:

- Não é aceitável a utilização de equipamentos com o objectivo de melhorar apenas as condições de conforto das pessoas que visitam ou frequentam os museus, não tendo em conta as colecções que albergam;
- Não é aceitável a utilização das instalações e equipamentos apenas nos períodos de funcionamento dos museus, fazendo com que as condições ambientais variem descontroladamente durante a noite;
- Os equipamentos requerem cuidados especiais quando ocorre uma avaria, pois pode provocar uma rapidíssima deterioração das condições climáticas interiores;
- Requerem estudos para avaliar o investimento inicial, os custos da manutenção e os custos de exploração;

- A colocação de aquecedores, humidificadores ou desumidificadores próximos das paredes provocam o aumento ou a diminuição das concentrações de humidade, podendo deteriorar os objectos dos acervos;
- O controlo das condições ambiente interiores, é realizado muitas vezes, através de sensores que ligam e desligam abruptamente, gerando mudanças e desequilíbrios nas condições climáticas interiores [29].

Um dos princípios deste trabalho é contribuir para o conhecimento do controlo passivo das condições higrotérmicas interiores sem recurso a grandes instalações, ou seja, utilizando apenas o edifício como agente passivo no controlo da temperatura e humidade relativa interior, aproveitando assim a sua inércia térmica e higroscópica.

5.3 Materiais e Revestimentos

Existem determinados tipos de materiais de construção e de revestimentos que quando colocados em contacto com o ar interior possuem a capacidade de adsorver e restituir humidade, moderando as variações da humidade relativa interior (materiais higroscópicos). Estes tipos de materiais podem ser utilizados como agentes passivos no controlo das condições climáticas interiores.

Ao longo deste trabalho já foi referido e comprovado que os materiais higroscópicos são capazes de contribuir para controlar as condições higrotérmicas interiores, reduzindo os picos de humidade relativa interior. Muitos dos materiais utilizados na construção possuem características higroscópicas, todavia, cada vez mais surgem no mercado novos materiais dos quais desconhecemos as suas características e o seu desempenho face a determinadas solicitações.

De acordo com estudos desenvolvidos por vários especialistas na área, os materiais e revestimentos utilizados na construção de edifícios antigos revelam um bom desempenho face às solicitações higrotérmicas. Os museus tradicionais situados em edifícios históricos, cujos seus acabamentos interiores são constituídos por materiais higroscópicos, nomeadamente rebocos à base de gesso e cal pintados com pinturas de cal, são interessantes para o controlo das flutuações de humidade relativa [9].

O armazenamento de humidade depende da capacidade de armazenamento de cada material, do mobiliário, da produção de vapor, do número de renovações horárias e da relação entre a área superficial do material e o volume de ar. Podemos tratar a capacidade de armazenamento de humidade ao nível do quarto/sala, dos sistemas e dos materiais. Este valor depende da velocidade do ar, da área e da espessura.

Um estudo realizado por um grupo de investigadores nórdicos teve como objectivo a definição de uma propriedade caracterizadora da capacidade de armazenamento de humidade de materiais ou elementos de construção e do seu procedimento de ensaio. O parâmetro encontrado foi o MBV – *Moisture Buffer Value*, que serve como indicador da quantidade de humidade transportada de ou para um material ou elemento de construção, durante um ciclo diário e por unidade de área exposta a uma ambiência com variações cíclicas de humidade.

O MBV pode ser determinado para materiais homogéneos ou elementos compostos que sejam utilizados em contacto com o ambiente interior. A sua determinação baseia-se na colocação do material numa câmara climática, submete-lo a um ciclo diário de variação de humidade relativa e registar as variações das massas. O MBV resulta da diferença entre o máximo e o mínimo das variações da massa [9].

A inércia higroscópica em análise no presente estudo é a inércia higroscópica sazonal, pelo que, não se pode utilizar o MBV como parâmetro caracterizador da capacidade de armazenamento de humidade. Neste contexto, sugere-se que seja determinada uma nova propriedade dos materiais AHIV – *Annual Hygroscopic Inertia Value*, que define a capacidade de armazenamento de humidade de cada material ou elemento construtivo ao longo de um ano.

Conhecendo a variação das pressões de vapor exteriores do local onde se situa o museu (Figura 5.1), e impondo a variação da temperatura interior de acordo com o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (Figura 5.2), obtemos a variação da humidade relativa interior (Figura 5.3). O material em estudo, é então submetido ao um ciclo anual que corresponde a essa variação de pressão de vapor e regista-se as variações da massa. O AHIV é a diferença entre os valores mínimo e o máximo da massa do provete (Figura 5.4).

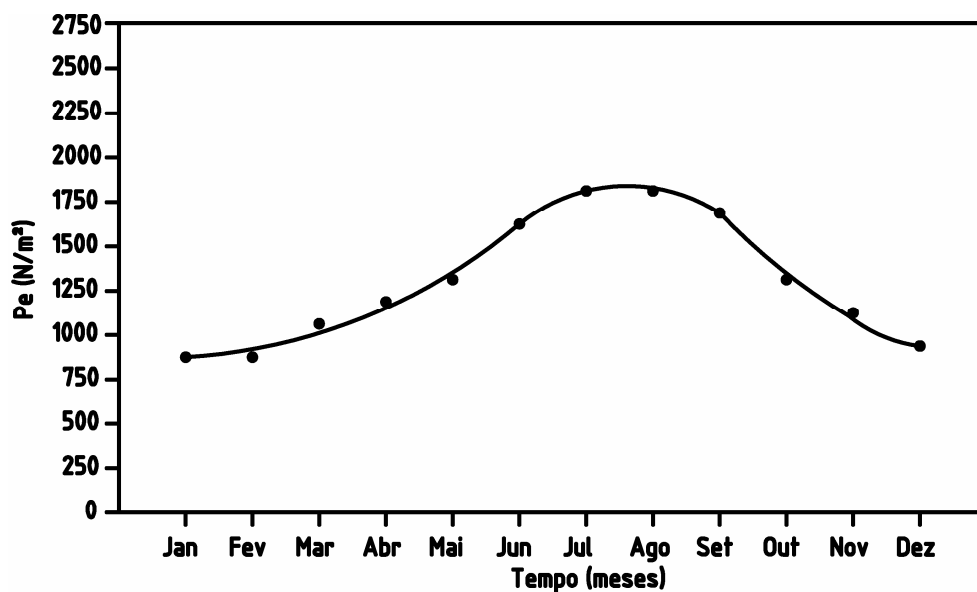


Figura 5.1 — Valores médios (1931/1960) da pressão de vapor exterior ao longo do ano para o Porto [30].

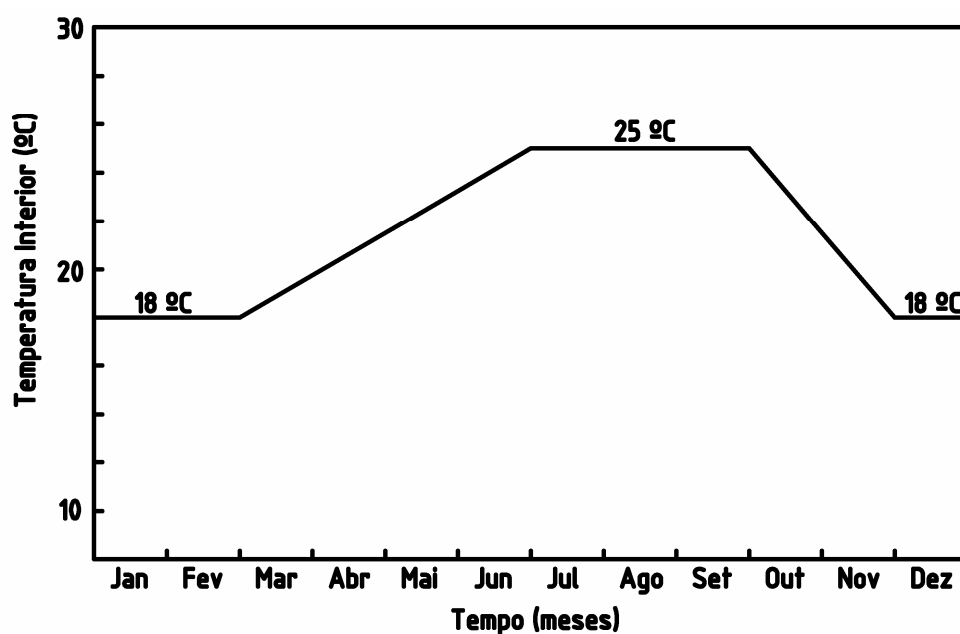


Figura 5.2 — Proposta da variação da temperatura de conforto interior num edifício/museu.

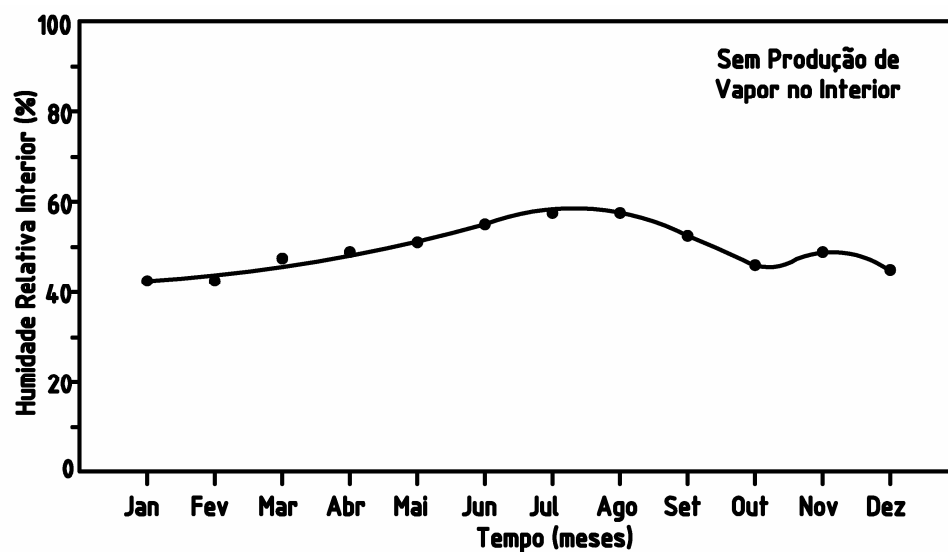


Figura 5.3 — Variação da humidade relativa no interior de um edifício sem produção de vapor.

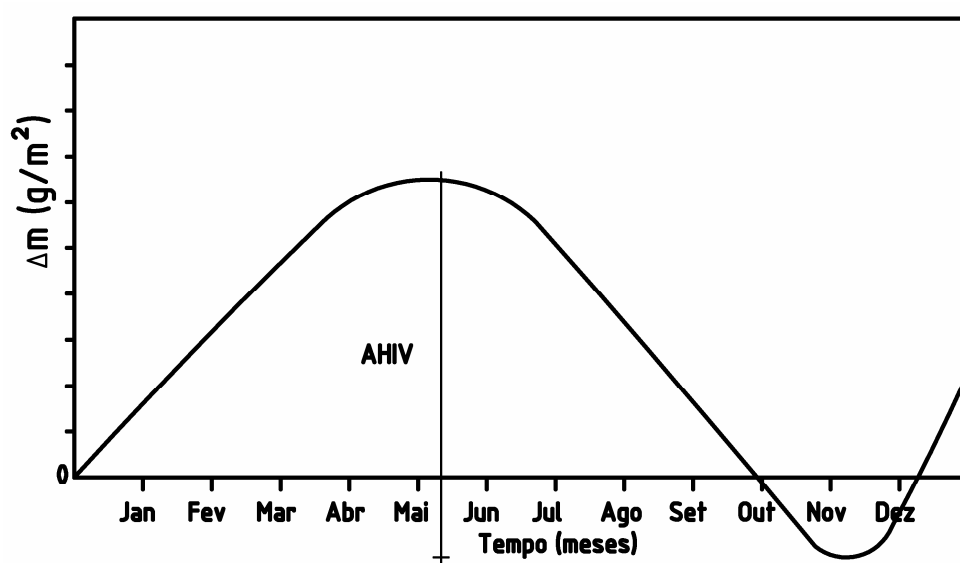


Figura 5.4 — Procedimento para a determinação do AHIV.

Os materiais que mais contribuem para a inércia higroscópica diária e que por isso devem ser utilizados nos museus são o gesso cartonado, gesso projectado, rebocos à base de gesso e cal, madeira sem tratamento, etc. No entanto, é de salientar que ainda não está caracterizado o desempenho dos materiais que possuem uma boa capacidade de armazenamento de humidade a longo prazo e que assim contribuem para inércia higroscópica sazonal do edifício.

5.4 Síntese do Capítulo 5

Ao longo deste capítulo foram enunciados alguns critérios que se deve ter em consideração na reabilitação adaptativa de museus localizados em edifícios antigos.

O edifício, através da sua envolvente e da sua estrutura é capaz de contribuir para controlar as condições climáticas interiores, mas para que isso seja possível, é necessário ter em consideração os seguintes aspectos: a construção de paredes exteriores espessas, a redução das áreas de vãos envidraçados, o correcto dimensionamento do caudal de ventilação, a utilização de materiais higroscópicos em revestimentos interiores, a aplicação de instalações e equipamentos mecânicos dimensionados correctamente, etc.

Capítulo 6

Conclusões

6.1 Considerações Finais

O trabalho desenvolvido no âmbito desta dissertação avaliou e confirmou a importância da inércia higroscópica em museus. A maior parte das conclusões desta dissertação, têm vindo a ser referidas ao longo do presente trabalho, contudo, apresenta-se nesta secção um conjunto de considerações finais que permitem fornecer uma visão global.

Apesar de serem em número reduzido, são cada vez mais os museólogos e coleccionadores que se preocupam com o bem-estar das suas colecções em detrimento do bem-estar dos visitantes dos seus museus. A principal fonte das deteriorações dos objectos museológicos é a humidade, que é função do clima exterior, da estrutura do próprio edifício, da produção de vapor e da higroscopicidade do local. Se o ar no interior dos museus for extremamente húmido, temos o risco do desenvolvimento de bolores, mas se pelo contrário, o ar no interior dos museus for extremamente seco, os seus objectos fissuram e algumas vezes são mesmo levados à rotura.

No entanto, tudo está relacionado com as condições ambientais a que os objectos museológicos estão habituados. Existem objectos que se comportam bem face a ambientes com elevados índices de humidade e, pelo contrário, existem acervos que apresentam um bom desempenho face a ambientes com uma baixa humidade relativa. Normalmente, os objectos museológicos não reagem muito bem a variações bruscas das condições higrotérmicas interiores, principalmente da humidade relativa.

Com intuito de minimizar as variações da humidade relativa interior, vários museus utilizam sistemas mecânicos para o controlo das condições higrotérmicas interiores, todavia, estes nem sempre surtem o efeito pretendido.

O principal objectivo deste trabalho é mostrar que não é sempre necessária a implementação, muitas vezes excessiva, de sistemas mecânicos para o controlo das condições higrotérmicas interiores, se soubermos utilizar correctamente as características do próprio edifício, designadamente o efeito da inércia térmica e higroscópica.

A inércia higroscópica traduz a capacidade que uma sala ou um edifício possui de armazenar a humidade relativa em excesso da ar e restitui-la ao ambiente quando a humidade do ar é baixa. Quando a avaliação é realizada a curto prazo, nomeadamente um dia, esta capacidade designa-se por inércia higroscópica diária, quando é realizada a longo prazo (um ano), designa-se por inércia higroscópica sazonal. Nos ensaios realizados no âmbito deste trabalho comprovou-se que a aplicação de materiais higroscópicos aumentam a inércia higroscópica do compartimento em que são aplicados e que assim contribuem para o controlo das condições higrotérmicas interiores, nomeadamente da humidade relativa interior.

Se nos museus pretendemos preservar e conservar os objectos que constituem o seu espólio devemos controlar as condições higrotérmicas interiores. Por todas as razões já enunciadas, o controlo através de meios passivos, como a inércia higroscópica do próprio edifício é um método a ter em consideração.

Voltando à pergunta inicial: É importante a consideração da inércia higroscópica em museus? A resposta é clara. É muito importante, não só por questões de preservação dos acervos dos museus mas também e essencialmente por questões energéticas e económicas.

6.2 Desenvolvimento Futuro da Investigação neste Domínio

Ao terminar este trabalho pode-se afirmar que, no que se refere inércia higroscópica há ainda um longo caminho a percorrer, nomeadamente:

- Introduzir outras variáveis como por exemplo a produção de vapor;
- Estudar em laboratório o comportamento de materiais com características higroscópicas no que diz respeito à inércia higroscópica sazonal;

- Realizar uma campanha de medições das condições higrotérmicas interiores em algumas salas dos museus Portugueses em que o controlo das condições higrotérmicas interiores dependa apenas da estrutura do próprio edifício;
- Simular e avaliar o comportamento higrotérmico de museus.

Referências Bibliográficas

- [1] Instituto Português dos Museus – *O panorama museológico em Portugal: [2000-2003]*. Lisboa: Observatório das Actividades Culturais, 2005. ISBN 972-8488-29-7.
- [2] Casanovas, Luís – *Conservação preventiva e preservação das obras de arte. Condições-ambiente e espaços museológicos em Portugal*. Tese de Doutoramento em História da Arte. Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa, Lisboa 2006.
- [3] Thomson, Garry – *The museum environment. Second edition*. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann 1986. ISBN 0-7506-2041-2.
- [4] Brown, JP. e Rose, W. – *Development of humidity recommendations in museums and moisture control in buildings*. Consultado em 7 de Dezembro de 2006: <http://palimpsest.stanford.edu/byauth/brownjp/humidity1997.html>
- [5] *Subtask 4: Moisture-Engineering Application*. IEA ECBCS Annex 41 Subtask 4 report (2007).
- [6] d'Ambrosio, Francesca e d'Agostino Vanessa – *Microclimate and cultural heritage*. Euroacademy on Ventilation and Indoor Climate. Course 1 – Indoor Air and Thermal Comfort. Bulgária: Marie Curie Actions (2006). p. 90-118.
- [7] Toledo Franciza. – *O controle climático em museus quentes e úmidos. Conservação preventiva e o controle climático*. Consultado em: http://www.museuicormeirelles.org.br/agenda/2003/seminario/franciza_toledo.htm.
- [8] Simonson, C.J.; Salonvaara, M. e Ojanen, T. – *The effect of structures on indoor humidity - possibility to improve comfort and perceived air quality*.

- Indoor Air. Denmark: Munksgaard Int Publ Ltd. ISSN 0905-6947. Vol. 12, n.º 4 (2002). p. 243-251. Consultado em: <http://blackwellmunksgaard.com>
- [9] Ramos, Nuno – *A importância da inércia higroscópica no comportamento higrotérmico dos edifícios*. Tese de Doutoramento. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2007.
- [10] Miranda, P. [et al.] – *O clima de Portugal nos séculos XX e XXI*. Project: Climate Change in Portugal: Scenarios, Impacts, and Adaptation Measures – SIAM. Consultado em: http://www.cgul.ul.pt/pm/Siam2_Clima.pdf
- [11] Romero, Marta – *Arquitectura Bioclimática do Espaço Público*. Coleção Arquitectura e Urbanismo, Editora UnB. Editora Universidade de Brasília: Brasília (2001). ISBN 85-230-0652-4.
- [12] Decreto-Lei n.º 80 de 4 de Abril de 2006. *Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios*. RCCTE.
- [13] Michalski, Stefan – *As condições ambiente ideais, a gestão de riscos, um capítulo do Manual da ASHRAE — American Society of Heating and Air Conditioning Engineers, as flutuações comprovadas e por fim um modelo integrado de análise de riscos* Tradução de Luís Casanovas. Consultado a 5 de Março de 2008 em: <http://si.artes.ucp.pt/citar/pt/areas/02/results.php>.
- [14] Freitas, V. F.; Miranda, S. e Gonçalves, P. – *Estudo sobre o comportamento higrotérmico das soluções construtivas propostas para a remodelação e ampliação do Museu Municipal de Faro*. Relatório HT 310R/07. Porto (2007).
- [15] *Câmara Municipal de Faro*. Consultado em: <http://www.cm-faro.pt>
- [16] *Rede Portuguesa dos Museus*. Consultado em: <http://www.rpmuseus-pt.org>
- [17] *Site oficial da Região do Algarve*. Consultado em:
<http://www.visitalgarve.pt/visitalgarve/vPT/UtilSaber/Faq/FAQ/Clima.htm>
- [18] *Atlas do Algarve*. Consultado em: <http://www.ccdr-alg.pt/atlas/atlas2.asp?>
- [19] Freitas, V. F. e Pinto, P. – *Permeabilidade ao vapor de materiais de construção – Condensações internas – NIT002, LFC – FEUP: Porto* (1998). ISBN 972-752-029-4.

- [20] Freitas, V. F. e Abrantes, V. – *Étude expérimentale de l'humidité de l'air dans l'intérieur des bâtiments. Influence du comportement hygroscopique des matériaux*. Healthy Buildings'88, CIB, Stockolm. Vol. 2 (1988). p. 201-209.
- [21] Instruction manual for use of Temperature and RH Logger R3120.
<http://www.cometsystem.cz/english/manuals/ie-log-r3120.pdf>
- [22] Padfield, Tim – *Dataloggers for climate measurement in museums and in transport cases*. <http://www.natmus.dk/cons/tp/datalog/datlog1.htm>
- [23] Chicora Foundation, Inc. – *Managing the museum environment*. Columbia: Chicora Foundation, Inc (1994). Consultado a 26 de Outubro de 2006 em: <http://palimpsest.stanford.edu/byrorg/chicora/chicenv.html>
- [24] Reddy, M. [et al] – *Indoor air quality at Salarjung Museum, Hyderabad, India*. Environmental Monitoring and Assessment. Netherlands: Springer Netherlands. ISSN 1573-2959. Vol. 105, n.º 1-3 (2005). p. 359-367.
- [25] Sturaro, G. [et al.] – *Multidisciplinary Environmental Monitoring at the Kunsthistorisches Museum, Vienna*. Journal of Trace and Microprobe Techniques. New York: Marcel Dekker, Inc. ISSN 1532-2270. Vol. 21, n.º 2 (2003). p. 273-274.
- [26] Brimblecombe, P. [et al.] – *The indoor environment of a modern museum building, The Sainsbury Centre for Visual Arts, Norwich, UK*. Indoor Air. Denmark: Munksgaard Int Publ Ltd. ISSN 0905-6947. Vol. 9, Issue 3 (1999). p. 146-164.
- [27] Padfield, T. e Larsen, P. – *How to design museums with a naturally stable climate*. Studies in Conservation. ISSN 0039-3630. Vol. 49, n.º 2 (2004). p. 131-137. <http://www.padfield.org/tim/cfys/musdes/musdes.pdf>.
- [28] Casanovas, Luís e Seruya, Ana – *Climate control in a 16th-century building in the south of Portugal*. 12th Triennial Meeting, Preventive Conservation. ICOM, Committee for conservation (1999). p. 27-30.

- [29] Camuffo, D. [et al.] – *Environmental monitoring in four European museums*. Atmospheric Environment. Elsevier Science S.A. ISSN 1352-2310/01. Vol. 35, supplement n.º 1 (2001). p. S127-S140.
- [30] Freitas, V. F. – *Étude expérimentale de l'humidité de l'air dans l'intérieur des bâtiments*. CIB – W40, Börs Meeting, Suécia (1987).
- [31] Definição de Psicrómetro. Consultado em:
http://www.smg.gov.mo/dm/equip/p_dry2wet.htm

Bibliografia

Bibliografia

Arenstein, R.P. – *Datalogger applications in monitoring the museum environment, Part I: Comparison of Temperature and Relative Humidity Dataloggers*. Conserve O Gram. National Park Service. N.º 3/3 (1995). Consultado a 29 de Janeiro de 2007 em: <http://www.nps.gov/history/museum/publications/conserveogram/03-03.pdf>

ASHRAE. – *Heating, Ventilating, and Air-Conditioning Applications*. ASHRAE Handbook. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.1999.

Bernardi, Adriana e Camuffo, Dário – *Microclimate in the Chiericati Palace Municipal Museum, Vicenza*. Museum Management and Curatorship. Great Britain: Elsevier Science Ltd. ISSN 0260-4779/95. Vol. 14, n.º 1 (1995). p. 5-18.

Boersma, F. – *Our lord in the attic. A preventive conservation case study*. Conservation, The Getty Conservation Institute Newsletter. Los Angeles: Jeffrey Levin. Vol. 22, n.º 1 (2007). p. 22-25.

Camuffo, D. [et al.] – *Indoor air quality at the Correr Museum, Venice, Italy*. The Science of Total Environment. Elsevier Science. ISSN 0048-9697/99. Vol. 236, n.º 1-3 (1999). p. 135-152. Consultado a 19 de Outubro de 2006: <http://www.sciencedirect.com>

Camuffo, D. [et al.] – *The microclimate inside the Pollaiuolo and Botticelli rooms in the Uffizi Gallery, Florence*. Journal of Cultural Heritage. Elsevier Science S.A. ISSN 1296-2074/22. Vol. 3, n.º 2 (2002). p. 155-161. Consultado em: <http://www.sciencedirect.com>.

Conrad, E. [et al.] – *Passive design, mechanical systems, and doing nothing. A Discussion about Environmental Management*. Conservation, The Getty Conservation Institute Newsletter. Los Angeles: Jeffrey Levin. Vol. 22, n.º 1 (2007). p. 10-16.

Costanzo, S. [et al.] – *Preservation of the artistic heritage within the seat of the Chancellorship of the University of Palermo. A proposal on a methodology regarding an environmental investigation according to Italian Standards*. Building and Environment. Elsevier Science S.A. ISSN 0360-1323. Vol 41, n.º 12 (2006). p. 1847-1859. Consultado em: <http://www.sciencedirect.com>

Cunningham, M.J. – *The building volume with hygroscopic materials – an analytical study of a classical building physics problem*. Building and Environment. Elsevier Science S.A. ISSN 0360-1323/03. Vol 38, n.º 2 (2003). p. 329-337. Consultado em: <http://www.sciencedirect.com>

Dahlin, Elin. – *Preventive conservation strategies for organic objects in museums, historic buildings and archives*. Damage assessment – causes, mechanisms and measurements. p. 57-60. Consultado em: http://heritage.xtd.pl/pdf/full_dahlin.pdf

Daniel, Vinod. – *Building management and maintenance in the new millennium*. AusHeritage. Austrália. ISSN 0024-2535. Vol. 50, n.º 7/8 (2001). p. 407-416. Consultado em: <http://www.emeraldinsight.com/Insight/ViewContentServlet?Filename=Published/EmeraldFullTextArticle/Articles/0350500712.html>

Delgado, J.; Ramos, N. e Freitas, V.P. – *Can moisture buffer performance be estimated from sorption kinetics?* Journal of Building Physics. SAGE Publications. ISSN 1744-2583. Vol. 29, n.º 4 (2006). p. 281-299. Consultado em: <http://jen.sagepub.com/cgi/reprint/29/4/281>

Doyle, B. e Herskovitz, B. – *Getting a handle on the museum environment*. Tech talk – Museum Environments. Consultado em: <http://www.mnhs.org/about/publications/techtalk/TechTalkMarch1999.pdf>

Fjaestad, Monika – *Classification of museum environments as a tool to improve the air quality*. Stockholm: National Heritage Board. Third Indoor Air Quality Meeting 2000. Consultado a 29 de Janeiro de 2007 em: http://iaq.dk/iap/iaq2000/2000_06.htm

Franco, Giovanna e Magrini, Anna – *Building envelopes and environmental sustainability. Design criteria according to European standards*. SKSB Conference. Istituto per le Tecnologie della Costruzione - Sede di Bari (1999). Consultado em: <http://www.ba.itc.cnr.it/sksb/PAPERS/15-04o.pdf>

Gennusa, Maria La [et al.] – *Control of indoor environments in heritage buildings: experimental measurements an old Italian museum and proposal of a methodology*. Journal of Cultural Heritage. Elsevier Science S.A. ISSN 1296-2074. Vol. 6, n.º 2 (2005). p. 147-155. Consultado em: <http://www.sciencedirect.com>

Gysels, K. [et al.] – *Indoor environment and conservation in the Royal Museum of Fine Arts, Antwerp, Belgium*. Journal of Cultural Heritage. Elsevier Science S.A. Vol. 5, n.º 2 (2004). p. 221-230. Consultado em: <http://www.sciencedirect.com>

Henry, M. C. – *From the outside in preventive conservation, sustainability, and environmental management*. Conservation, The Getty Conservation Institute Newsletter. Los Angeles: Jeffrey Levin. Vol. 22, n.º 1 (2007). p. 4-9.

Holm, A.; Antretter, F. e Lenz K. – *Interior climate in German houses*. IEA Annex 41 MOIST-ENG Working meeting. Montreal, Canadá (2005). <http://www.kuleuven.ac.be/bwf/projects/annex41/>

Kalamees, T.; Sasi, L. e Õiger, K. – *Indoor humidity load in Estonian detached houses*. IEA Annex 41 MOIST-ENG Working meeting. Trondheim, Norway (2005). <http://www.kuleuven.ac.be/bwf/projects/annex41/>

Kalamees, T. – *Indoor humidity load in dwellings with high occupancy*. IEA Annex 41 MOIST-ENG Working meeting. Lion, France (2006). <http://www.kuleuven.ac.be/bwf/projects/annex41/>

Kalamees, T.; Vinha, J. e Kurnitski, J. – *Indoor temperature and humidity load in fiish detached houses*. IEA Annex 41 MOIST-ENG Working meeting. Montreal, Canada (2005). <http://www.kuleuven.ac.be/bwf/projects/annex41/>

Kalamees T.; Vinha, J. e Kurnitski, J. *Indoor humidity loads and moisture production in lightweight timber-frame detached houses*. Journal of Buildings Physics. SAGE Publications. ISSN 1744-2591/06. Vol. 29, n.º 3 (2006). p. 219-246.

Kilby, Virginia – *Buffered and unbuffered storage materials*. Conserve O Gram. National Park Service. N.º 4/9 (1995). Consultado a 29 de Janeiro de 2007 em: <http://www.nps.gov/history/museum/publications/conserveogram/04-09.pdf>

Maekawa, S. e Beltran, V. – *Collections care, human comfort, and climate control. A case study at the casa de Rui Barbosa Museum*. Conservation, The Getty Conservation Institute Newsletter. Los Angeles: Jeffrey Levin. Vol. 22, n.º 1 (2007). p. 17-21.

Martens, M. H. J. [et al.] – *How to meet the climate requirements? Evaluating the indoor climate in three types of Dutch museums*. 12th Symposium for Building Physics. Dresden. Vol. 2 (2007). p. 697-703.

McCrary, Ellen – *Indoor environment standards: a report on the NYU Symposium*. Abbey Newsletter, Vol. 19, N.º 6-7, Dezembro 1995. Consultado em 19 de Outubro de 2006: <http://palimpsest.stanford.edu/byorg/abbey/an/an19/an19-6/an19-602.html>

Meckler, Milton e Hyman, Lucas – *The facts on protecting art and artefacts*. Engineered Systems (2006). p. 59-64. Consultado em: www.esmagazine.com.

Michalski, S. – *Leakage Prediction for buildings, cases, bags and bottles*. Studies in Conservation – The Journal of the International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works. London. Vol. 39 (1994). p. 169-186.

Moreira, Nuno – *Conservação preventiva e orçamentos, equilíbrio entre utopia e realidade*. Revista Museu. Edição Brasileira. Consultado em: http://www.revistamuseu.com.br/artigos/art_.asp?id=1108.

Nordic Innovation Centre – *Moisture buffering of building materials*. Denmark: Carsten Rode, Technical University of Denmark (DTU). ISSN 1601-2917. Report BYG.DTU R-126 (2005). Consultado em:

<http://www.byg.dtu.dk/upload/institutter/byg/publications/rapporter/byg-r126.pdf>

Odlyha; M. [et al.] – *Environment research for art conservation and assessment of indoor conditions surrounding cultural objects*. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. Akadémiai Kiadó, Budapest. ISSN 1418-2874/99. Vol. 56, n.º 3 (1999). p. 1219-1232. Consultado em: <http://www.springerlink.com>

Padfield, T. *Buffering of the indoor climate by porous walls: Gundsømagle Church, part 1*. Consultado em: <http://www.natmus.dk/cons/tp/gsm/gsm1.htm>.

Padfield, T. *Buffering of the indoor climate by porous walls: Gundsømagle Church, part 2*. Consultado em: <http://www.natmus.dk/cons/tp/gsm/gsm2.htm>.

Padfield, T. *Buffering of the indoor climate by porous walls: Gundsømagle Church, part 3*. Consultado em: <http://www.natmus.dk/cons/tp/gsm/gsm3.htm>.

Padfield, Tim – *Casting mud in the debate on museum environmental standards*. Consultado em: <http://www.padfield.org/tim/cfys/mudbuf/mudbuf1.php>.

Padfield, Tim – *Designing a Museum Store*. Magasinbygningens fysik og funktion, edited by Maj Ringgaard et al., Copenhagen (2005). p. 41-43, ISBN 87-990583-0-8. Consultado em: <http://www.padfield.org/tim/cfys/ppubs/soroe.pdf>

Padfield, Tim – *Humidity buffering by museum walls, part 1*. Consultado em: <http://www.natmus.dk/cons/tp/porewall/porew1.htm>

Padfield, Tim – *Humidity buffering by museum walls, part 2*. Consultado em: <http://www.natmus.dk/cons/tp/porewall/porew2.htm>.

Padfield, Tim – *Humidity buffering of the indoor climate by absorbent walls*. Consultado em: <http://www.padfield.org/tim/cfys/ppubs/humbuf.pdf>

Padfield, Tim – *Humidity buffering of the indoor climate by absorbent walls*. 5th Symposium on Building Physics in the Nordic Countries. Chalmers University of Technology, Göteborg. Vol. 2 (1999). p 637 - 644. Consultado em: <http://www.padfield.org/tim/cfys/ppubs/humbuf.pdf>.

Padfield, T. *Humidity buffering by absorbent materials in walls*. Consultado em: <http://www.natmus.dk/cons/tp/wallbuff/wallbuff.htm>.

Padfield, Tim – *Humidity buffering of interior spaces by porous absorbent insulation. Part of Hygrothermal properties of alternative insulation materials*. Department of Structural Engineering and Materials Technical University of Denmark (1999). ISSN 1396-2167. Consultado em: <http://www.natmus.dk/cons/tp/altisol/woolbuff.pdf>

Padfield Tim e Jensen Poul – *Low energy climate control in museum stores*. ICOM-CC Conference. Edinburgh. Vol. 1 (1996). p 68-71. Consultado em: http://www.padfield.org/tim/cfys/woodstor/p_hall_01.php.

Padfield, Tim – *On the usefulness of water absorbent materials in museum walls*. 12th triennial meeting of the Committee for Conservation of the International Council of Museums. Lyon. Vol. 2 (1999). p 83-87. Consultado em: http://www.padfield.org/tim/cfys/icom_cc99/icom_cc99.pdf

Padfield, Tim – *The role of absorbent building materials in moderating changes of relative humidity*. Ph.D. thesis. The Technical University of Denmark. Department of Structural Engineering and Materials (1998).

Papakonstantinou, K.A.; Kiranoudis, C.T. e Markatos, N.C. – *Mathematical modeling of environmental conditions inside historical buildings. The case of the archaeological museum of Athens*. Energy and Buildings. Elsevier Science S.A. ISSN 0378-7788/00. Vol. 31, n.º 3 (2000). p. 211-220. Consultado em: <http://www.sciencedirect.com>

Pavlogeorgatos, G. – *Environmental parameters in museums*. Building and Environmental. Elsevier Science S.A. ISSN 0360-1323. Vol. 38, n.º 12 (2003). p. 1457-1462. Consultado em: <http://www.sciencedirect.com>

Ramos, Nuno – *Modelação da variação da humidade relativa no interior dos edifícios*. Dissertação de mestrado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto (2000).

Ryhl-Svendsen, M. [et al.] – *The indoor climate in historic buildings without mechanical ventilation*. Healthy Buildings 2003. p 278-283. Consultado em: <http://www.padfield.org/tim/cfys/ppubs/indclim.pdf>

Saïd, M.N.A. [et al.] – *Monitoring of the building envelope of a heritage house: a case study*. Energy and Buildings. Elsevier Science S.A. ISSN 0378-7788/99. Vol. 30, n.º 3 (1999). p. 211-219. Consultado em: <http://www.sciencedirect.com>

Simonson, J.C.; Salonvaara, M. e Ojanen, T. – *Moderating indoor conditions with hygroscopic building materials and outdoor ventilation*. ASHRAE 2004 Annual Meeting. International Energy Agency - AIVC. p. 1-15.

Toledo, Franciza e Price, Clifford – *A note on tropical, hot and humid museums*. Journal of Conservation & Museum Studies. N.º 4 (1998). Consultado a 29 de Janeiro de 2007 em: <http://palimpsest.stanford.edu/jcms/issue4/toledo.html>.

Tombazis, A.N. e Preuss, S.A. – *DG XII programme: retrofitting of museum for antiquities in the Mediterranean countries*. Energy and Buildings. Elsevier Science S.A. ISSN 0378-7788/01. Vol. 33, n.º 3 (2001). p. 251-255. Consultado em: <http://www.sciencedirect.com>.

Rode Carsten [et al.] – *Nordtest. Workshop on moisture buffer capacity - summary report.*, Department of Civil Engineering, Technical University of Denmark (2003). Report BYG-DTU R-067 2003, ISSN 1601-2917, ISBN 87-7877-129-3. Consultado em: <http://www.padfield.org/tim/cfys/ppubs/nordtest.pdf>.

Padfield, Tim – *The role of standards and guidelines. Are they a substitute for understanding a problem or a protection against the consequences of ignorance?* Conservation Department, The National Museum of Denmark, Brede, DK-2800 Lyngby, Denmark. <http://www.padfield.org/tim/cfys/ppubs/dahlem.pdf>

Anexos

Anexo A

Condições Higrotérmicas de Referência para Objectos Museológicos

Tabela A.1 — Valores médios da humidade relativa e temperatura de diversos materiais que constituem os objectos museológicos [5].

Classe	Temperatura [°C]	Humidade Relativa [%]
Armaduras, armamento	15-25	0-65
Marfim, ossos	0-25	20-65
Bronze	15-25	0-60
Papel, pasta de papel	15-25	0-65
Colecções anatómicas (animais, múmias,...)	0-25	20-55
Colecções mineralógicas, esculturas e pedras	10-30	0-70
Couro, peles, pergaminho	18-24	35-65
Registos fonográficos	10-60	40-60
Fita magnética	4-21	40-60
Colecções botânicas	18-24	35-65
Filmes e fotos a cores	-5-15	0-50
Filmes e fotos a preto e branco	-5-20	0-60
Insectos e caixas entomológicas	15-24	40-65
Tintas orientais	19-24	35-65
Madeira	15-25	35-65
Madeira pintada, esculturas policromáticas	19-24	35-65
Livros, manuscritos	12,8-24	0-65
Material etnográfico	18-24	35-65
Materiais plásticos	19-24	30-50
Metais e ligas, latão, prata, chumbo, cobre e liga de estanho	20-25	0-65
Mobiliário embutido e lacado	19-24	35-65
Mosaicos	6-25	0-60

Classe	Temperatura [°C]	Humidade Relativa [%]
Ouro	21-23,5	0-55
Pinturas Murais	6-25	45-65
Papiros	21-25	0-65
Pastel, aguarelas, desenhos	6-24	0-60
Impressões	19-25	0-65
Pelos e penas	15-25	25-60
Tecidos pintados	0-24	35-65
Porcelanas, cerâmicas, grés e terracota	16-30	0-70
Seda	2-25	30-65
Têxteis, carpetes, tapeçarias	2-25	35-65
Vidros	18-23,5	0-60

Tabela A.2 — Especificações de humidade relativa e temperatura para museus, galerias, bibliotecas e arquivos [5].

Tipo	Valores de Referência ou Média Anual	Flutuações Máximas e Gradientes em Espaços Controlados			Riscos e Benefícios para as Coleções
		Classe de Controlo	Pequenas Flutuações	Ajustes sazonais dos valores de referência	
Museus em geral, Galerias de Arte, Bibliotecas e Arquivos Salas de consulta e leitura, salas para armazenamento de coleções quimicamente estáveis em particular se forem mecanicamente vulneráveis	50% HR (ou a média anual histórica para as coleções permanentes)	AA Controle de precisão, sem correção sazonal	±5% HR, ±2°C	HR sem alteração. T 5°C acima do valor de referência e 10°C abaixo	Nenhum risco de degradação mecânica para a maior parte dos artefactos e da pintura. Alguns metais e minerais poderão degradar-se se um valor da HR de 50% exceder um valor crítico. Objectos quimicamente instáveis estarão inutilizáveis dentro de décadas.
	Temperatura: um valor entre 15 e 25°C Nota: Nas salas destinadas a exposições temporárias deve ser possível o valor solicitado pela entidade que empresta, tipicamente 50%, 21°C mas por vezes 55 ou 60%.	A Controle de precisão, alguns factores ou alterações sazonais mas não os dois	±5% HR, ±2°C	Aumentar ou reduzir a HR 10%, aumentar a Temperatura 5°C ou reduzi-la 10°C	Risco reduzido de degradação mecânica para artefactos muito sensíveis, nenhum risco para a maior parte dos artefactos, pintura, fotografias e livros.
		B Controle de precisão de alguns factores mais um ajuste da temperatura de Inverno	±10% HR, ±5°C	Mais 10%, menos 10% HR; mais 10°C mas não acima de 30°C, diminuir até um valor suficientemente baixo para manter o controle da HR	Risco moderado de degradação mecânica em objectos muito sensíveis, risco muito pequeno para a maior parte da pintura e da fotografia, alguns livros e artefactos e risco praticamente nulo para muitos artefactos e a maior parte dos livros. Os objectos quimicamente instáveis ficarão inutilizados dentro de décadas, menos se estiverem regularmente a 30°C, mas os períodos frios do Inverno duplicam a sua vida.
		C Evitar os extremos mais perigosos	HR mantida entre 25% e 75% durante todo o ano, temperatura raramente acima dos 30°C, normalmente inferior a 25°C		Risco elevado de degradação mecânica para artefactos muito vulneráveis, risco moderado para a maior parte da pintura e da fotografia e alguns artefactos e alguns livros e um pequeno risco para muitos artefactos e a maior parte dos livros. Os objectos quimicamente instáveis ficarão inutilizados dentro de décadas, menos se estiverem regularmente a 30°C, mas os períodos frios do Inverno duplicam a sua vida.
		D Evitar a humidade	HR mantida de forma segura a um valor inferior a 75%		Risco elevado de deterioração mecânica brusca ou acumulada para a maior parte devido á fractura por humidade relativa demasiado baixa, mas são evitadas as deformações provocadas por humidade elevada especialmente nos embutidos, pintura, papel e fotografias. Os objectos quimicamente instáveis ficarão inutilizados dentro de décadas, menos se estiverem regularmente a 30°C, mas os períodos frios do Inverno duplicam a sua vida.
Arquivos, Livrarias Salas para armazenamento de coleções quimicamente instáveis	Sala fria -20°C 40% HR	±10% HR, ±2°C			Objectos quimicamente instáveis estarão inutilizados num milénio. Flutuações de HR durante um mês não afectam propriamente os registos do armazenamento a esta temperatura (o tempo fora do armazenamento torna o tempo de vida determinante)
	Sala fria 10°C, 30 a 50% HR	(Mesmo que esta diminuição seja apenas no Inverno, é considerada uma vantagem para as coleções semelhantes desde que não fiquem sujeitas à humidade)			Objectos quimicamente instáveis estarão inutilizados num século ou mais. Materiais como livros e papéis tendem a ter baixa vulnerabilidade mecânica às flutuações.
Coleções de Metais esp.	Sala seca: 0 a 30% HR	A humidade relativa não pode exceder nenhum valor crítico, tipicamente 30% HR			

Anexo B

Equipamentos de Medida

A humidade e a temperatura são parâmetros que se encontram relacionados, consequentemente muitas vezes há necessidade de os medir com um único instrumento. A temperatura é expressa em graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$) e a humidade relativa em percentagem (%). Após uma breve pesquisa, constatou-se que os equipamentos que permitem medir simultaneamente a temperatura e a humidade relativa são os psicrómetros, os termohigrógrafos e os dataloggers.

B.1 Psicrómetros

Os psicrómetros são instrumentos que medem pontualmente a temperatura e a humidade relativa de uma forma indirecta. São constituídos por dois termómetros idênticos, um de bolbo húmido e outro de bolbo seco, que servem para avaliar a quantidade de vapor de água contida no ar (humidade absoluta do ar).

O termómetro de bolbo húmido tem o bolbo coberto por uma malha porosa (geralmente de algodão ou gaze), que se encontra mergulhado num recipiente com água destilada. Esta malha permanece húmida devido ao efeito de capilaridade. A evaporação da água contida na malha envolvente retira calor ao bolbo, como consequência, o termómetro de bolbo húmido regista uma temperatura mais baixa do que a do outro termómetro, que indica a temperatura ambiente. Essa evaporação, e consequentemente a diminuição da temperatura do bolbo húmido, é tanto maior quanto mais seco está o ar atmosférico e é nula quando a atmosfera está saturada de vapor de água.



Figura B.1 — Exemplo de um psicrómetro [30].

Calcula-se a diferença entre a temperatura do bolbo húmido e a do bolbo seco e determina-se a humidade relativa com base numa tabela higrométrica. Embora a medição pareça muito exacta, o erro humano durante na leitura e no cálculo pode facilmente causar resultados enganadores.

B.2 Termohigrógrafos

Os termohigrógrafos são instrumentos que medem e registam continuamente os valores de temperatura e humidade relativa de um determinado ambiente. São constituídos por um sensor bi-metálico que tem como função medir a temperatura e um sensor de cabelo humano que mede a humidade relativa. Os dois sensores expandem ou contraem conforme as variações de humidade e de temperatura a que estão sujeitos.

A temperatura e a humidade relativa são registadas simultaneamente através da utilização de duas esferográficas que marcam numa folha de papel gráfico envolvida num tambor de rotação.

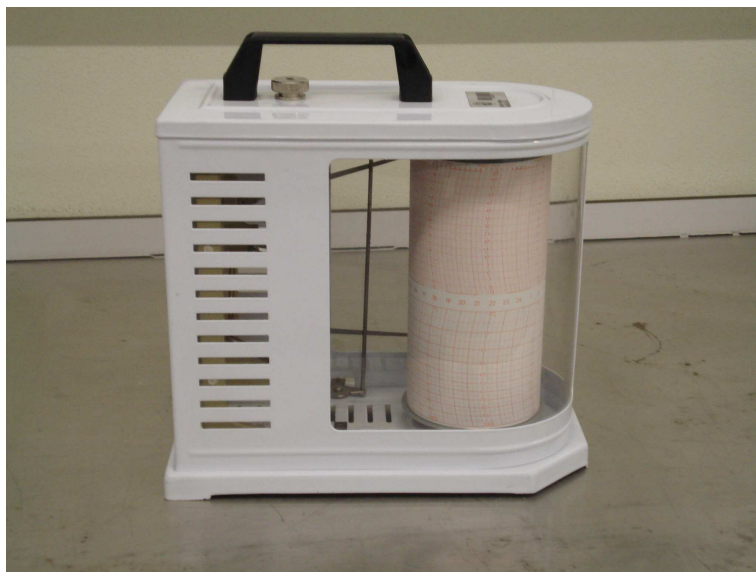


Figura B.2 — Exemplo de um termohigrógrafo.

O termohigrógrafo é um instrumento muito sensível que requer uma calibração frequente. Para que a sua utilização seja o mais eficaz possível, aconselha-se que estes instrumentos sejam colocados num determinado local, de forma a evitar sucessivas deslocações e consequentemente a sua descalibração.

B.3 Dataloggers

Os dataloggers são aparelhos electrónicos de medição e registo de temperatura e humidade relativa. São portáteis, de tamanho reduzido e são dotados de uns sensores internos, concebidos para medir a temperatura e a humidade relativa em intervalos de tempo programados. Permitem uma medição e registo contínuos e a selecção do intervalo de tempo pretendido.

Os dataloggers são dotados de uma memória que permite o armazenamento dos registos para o *download* posterior. O *download* é realizado através de um cabo adaptador USB e a gestão da informação é efectuada com o auxílio de um *software* da marca.



Figura B.3 — Dataloggers Comet System

As suas vantagens mais relevantes residem na variabilidade do intervalo de tempo de medição, na capacidade de armazenamento dos vários registos e na facilidade com que é possível tratar os resultados. No entanto, apresenta como desvantagem a manutenção, que é mais do que uma troca de papel ou do que dar corda a um relógio.